Guide de sélection des instruments de mesure du bruit

Commission de la santé
et de la sécurité du travail
du Québec

GUIDE DE SÉLECTION DES INSTRUMENTS DE MESURE DU BRUIT

Dépôt légal - 2e trimestre 1984
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-10969-4

TABLE DES MATIÈRES

Liste des illustrations		V
Liste des tableaux		VII
INTRODUCTION		1
1	NOTIONS DE BASE	3
1.1	Contaminant	3
1.2	Notions physiques	3
1.3	Le décibel	8
1.4	Les manifestations du bruit	11
1.5	Quantités réglementées	18
1.6	L'oreille	19
2	CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ET STRATÉGIE	23
2.1	Pourquoi ?	23
2.2	Quoi ?	25
2.3	Comment ?	26
2.4	Où ?	27
2.5	Quand ?	30
2.6	Qui ?	31
3	TYPES D'INSTRUMENTS ET APERÇU SCHÉMATIQUE DE LA SÉLECTION	33
3.1	Types d'instruments	33
3.1.1	Sonomètres	33
3.1.2	Dosimètres	35
3.1.3	Enregistreurs	35
3.2	Aperçu schématique de la sélection d'un instrument de mesure	36

3.2.1	Définition des conditions environnementales et de la stratégie	37
3.2.2	Choix d'un type d'instrument	37
3.2.3	Le type d'instrument approprié existe-t-il pour le contaminant en question ?	40
3.2.4	Sélection de l'instrument	40
4	ANALYSE ET CRITIQUE TECHNIQUE	43
4.1	Sonomètres	43
4.1.1	Critères de sélection des sonomètres	45
4.1.1.1	Critères généraux	45
4.1.1.2	Sonomètre avec fonction crête	49
4.1.1.3	Sonomètre avec fonction d'intégration (L_{eq})	50
4.1.1.4	Sonomètre avec filtre	51
4.1.2	Discussion sur les sonomètres	52
4.2	Dosimètres	54
4.2.1	Critères de sélection des dosimètres	56
4.2.2	Discussion sur les dosimètres	61
4.3	Microphones	63
4.3.1	Critères de sélection des microphones	66
4.3.2	Discussion sur les microphones	70
4.4	Enregistreurs	76
4.4.1	Critères de sélection des enregistreurs	80
4.4.1.1	Critères généraux	80
4.4.1.2	Enregistreur magnétique	82
4.4.1.3	Enregistreur graphique	84
4.4.2	Discussion sur les enregistreurs	85
CONCLUSION		89
ANNEXES		91
1	Cas type	92
2	Quantités réglementées	101
3	Lexique	118
4	Bibliographie	125

LISTE DES ILLUSTRATIONS

1	Fronts d'onde de pression	4
2	Représentation des fronts d'onde sous forme d'onde progressive	6
3	Représentation d'une superposition d'ondes progressives	7
4	Comparaison d'ondes de haute et basse fréquence	8
5	Représentation comparative des niveaux sonores	10
6	Courbe de pondération "A" avec sa tolérance	11
7	Variation douce du niveau sonore en fonction du temps	12
8	Bruit continu fluctuant	12
9	Bande de fréquence prédominante	14
10	Représentation des fonctions "peak" et "impulse"	17
11	Variation de l'intensité sonore en fonction de la distance	18
12	L'oreille humaine	20
13	Sonomètre	34
14	Dosimètre	35
15	Enregistreur magnétique et enregistreur graphique	36

16	Étapes de la sélection d'un instrument de mesure	39
17	Le choix de l'instrument approprié	41
18	Schéma de fonctionnement d'un sonomètre	44
19	Principe de fonctionnement d'un dosimètre	56
20	Microphone à céramique	64
21	Microphone à condensateur	64
22	Microphone à électret	65
23	Champ libre	73
24	Champ diffus	74
25	Mesure du bruit de la circulation en mode d'étalonnage en pression	75
26	Exemple d'utilisation d'un enregistreur magnétique	77
27	Exemple d'utilisation d'un enregistreur graphique	78
28	Exemple d'utilisation des deux types d'enregistreurs	79
29	Complexité du calcul du niveau sonore équivalent d'un bruit fluctuant	103
30	Sommation des niveaux sonores	105

LISTE DES TABLEAUX

1	Sources possibles de sons purs	15
2	Manifestations physiques du bruit	25
3	Contraintes environnementales	28
4	Avantages et désavantages des divers types d'instruments	38
5	Importance des critères selon l'usage prévu du microphone	72
6	Critères de sélection du sonomètre	97
7	Critères de sélection du microphone	99

INTRODUCTION

Le présent guide est une introduction à la problématique globale de la sélection des instruments de mesure du bruit. Il a été conçu pour être le plus accessible possible; à cette fin, le premier chapitre expose brièvement le phénomène du bruit et ses notions connexes. Le deuxième chapitre traite de l'influence de la stratégie et de l'environnement sur la sélection des instruments de mesure; c'est en répondant à six questions clés qu'on peut définir le contexte environnemental, la stratégie, et les objectifs à atteindre en effectuant les mesures. Une fois les objectifs cernés, on peut déterminer le type d'instrument dont on a besoin; le troisième chapitre présente un aperçu schématique des divers types d'instruments disponibles selon leur usage principal. Au quatrième chapitre, enfin, on trouve une description précise de ces types d'instruments, ainsi qu'une liste des critères techniques à considérer dans chaque cas. Pour chaque type d'instrument, les critères sont suivis d'une critique technique où l'on examine les avantages comparatifs des appareils et leurs utilisations respectives.

Un cas type, reprenant la démarche exposée dans le guide, est présenté en annexe.

Pour des raisons de concision, certains termes ou titres apparaîtront dans le corps du texte sous forme abrégée. À moins d'une mention expresse, ils correspondront tout au long du présent ouvrage aux définitions données ci-dessous.

- Pour "instrument de mesure du bruit", nous utiliserons simplement "instrument de mesure" ou "instrument".

- Pour le Guide de sélection des instruments de mesure du bruit, nous utiliserons "guide".

- La Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec sera appelée "Commission".

- Le Règlement sur la qualité du milieu de travail sera désigné sous l'appellation de "Règlement".

- La Loi sur la santé et la sécurité du travail du Québec sera désignée sous l'appellation de "Loi".

Enfin, le lecteur trouvera à l'annexe 3 un lexique des principaux termes techniques utilisés dans le présent guide.

1 NOTIONS DE BASE

Dans le but de faciliter la compréhension du guide, nous passerons en revue dans le premier chapitre quelques notions de base sur le bruit, soit les notions qu'il est essentiel de connaître dans le contexte de l'hygiène du travail. L'auteur espère que cet aperçu saura bien situer le cadre global dans lequel se fait la sélection d'un instrument de mesure du bruit.

1.1 Contaminant

Selon la Loi sur la santé et la sécurité du travail du Québec, un contaminant se définit comme suit:

> "Une matière solide, liquide ou gazeuse, un micro-organisme, un son, une vibration, un rayonnement, une chaleur, une odeur, une radiation ou toute combinaison de l'un ou l'autre susceptible d'altérer de quelque manière la santé ou la sécurité des travailleurs".
> (Article 1 de la Loi)

Pour des raisons de simplicité, le terme "contaminant" ne sera utilisé ici que pour désigner un son, un bruit.

1.2 Notions physiques

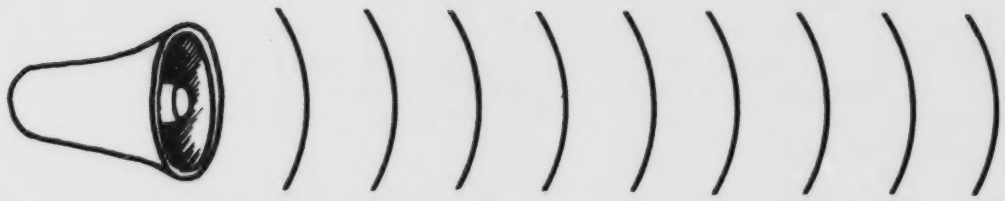
Le bruit est un son ou un ensemble de sons dont l'audition n'est pas désirée et peut même être nuisible. Il est généralement produit par un corps qui vibre (diapason, cordes vocales, plaque métallique), et dont les vibrations sont transmises à l'air ambiant. Le son se déplace dans l'air sous la forme d'une onde de pression.

Cette onde de pression compressera une couche d'air, laquelle à son tour compressera la couche voisine, et ainsi de suite. Il est possible de se représenter ces compressions successives par des dominos alignés, dont la chute du premier, suite à une poussée (pression), entraîne la chute successive de tous les autres, propageant ainsi la pression exercée à l'origine.

Pour décrire le son, on a défini des paramètres physiques tels que la fréquence et l'intensité, qui permettent une quantification du bruit.

Pour illustrer ces paramètres, il est très utile de se référer à une représentation schématique

Illustration 1. FRONTS D'ONDE DE PRESSION



Note: Le haut-parleur compresse des couches d'air (production d'un bruit). Ces compressions d'air progressent dans l'environnement. Ces modifications sonores de l'air sont appelées "fronts d'onde de pression sonore".

Ces fronts d'onde sonore (couches d'air compressées) peuvent être représentés par une onde progressive, semblable aux vagues à la surface de l'eau (voir illustration 2).

La fréquence correspond au nombre de cycles passant par un point durant une seconde (voir illustration 2). L'unité représentant la fréquence est le Hertz (1 Hz = 1 cycle par seconde).

Si le nombre de cycles est très élevé (≈ 8 000 Hz), on parle de haute fréquence. Ce son de haute fréquence est perçu par l'oreille humaine comme étant aigu. Par contre, si le nombre de cycles par seconde est faible (≈ 200 Hz), il s'agit de la région des basses fréquences, et le son est dit grave.

Les sons de haute fréquence sont plus désagréables que les sons de basse fréquence, mais ces derniers traversent plus facilement les parois (ex.: les basses produites par les haut-parleurs d'une chaîne stéréo traversent facilement d'un appartement à l'autre, ce qui n'est pas le cas pour les sons aigus).

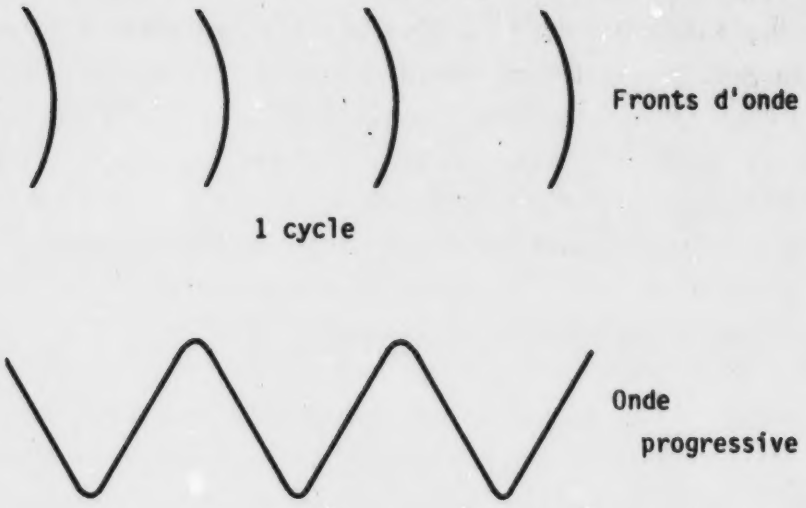
Mais revenons à la notion d'onde progressive. L'onde que nous montre l'illustration 2 est en réalité la représentation d'un son pur (ex.: comme le son que produirait un musicien utilisant toujours la même note de son instrument). Ce son pur (ou ton pur) est produit par une source unique de bruit. Or, le bruit dans une aire de travail provient généralement de plusieurs sources*, chacune produisant des sons de diverses fréquences. L'onde sonore résultante qui est perçue est une superposition (addition) de toutes ces ondes progressives différentes. Le résultat aura l'aspect de la courbe de droite de l'illustration 3.

Il est possible de visualiser plus facilement ce phénomène à l'aide de l'exemple suivant. Un garçon qui frappe régulièrement une surface d'eau avec ses pieds produit des vagues (ondes) qui se propagent uniformément à la surface. Si un deuxième garçon frappait aussi l'eau de façon régulière, mais deux fois plus rapidement, il produirait aussi des ondes, mais avec une plus grande fréquence.

---

* Une machine peut avoir plusieurs sources de bruit, si elle possède plusieurs pièces mobiles. Donc, le bruit qu'elle émet n'est pas nécessairement pur. Par ailleurs, une des parties de la machine peut émettre des tons purs.

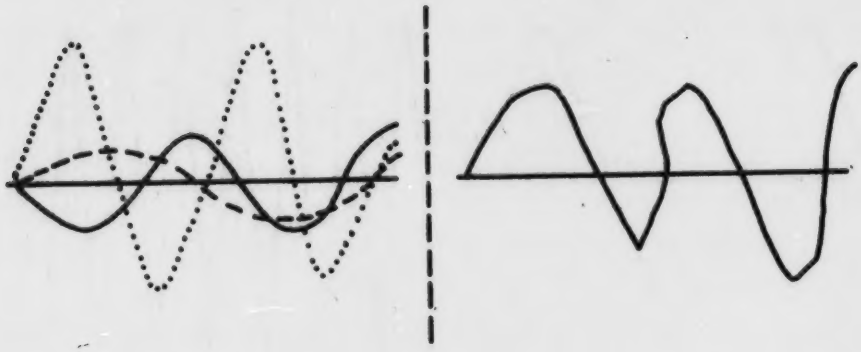
Illustration 2. PRÉSENTATION DES FRONTS D'ONDE SOUS FORME D'ONDE PROGRESSIVE



Note: Les maximums apparaissant dans l'onde progressive correspondent aux maximums des couches d'air compressées, alors qu'inversement les minimums de l'onde progressive correspondent aux fronts d'onde où l'air est décompressé. Dans un front d'onde, on illustre seulement les maximums d'air compressé.

S'il y avait une centaine de garçons frappant l'eau, tous avec une fréquence différente, la surface de l'eau ressemblerait à celle d'une piscine où se retrouvent un grand nombre de baigneurs. Les ondes produites par chacun des baigneurs s'additionnent jusqu'à former une surface trouble. Les ondes sonores se comportent de la même façon dans l'air.

Illustration 3. REPRÉSENTATION D'UNE SUPERPOSITION D'ONDES PROGRESSIVES



Note: La superposition des trois ondes sonores pures de gauche donne comme résultante la courbe de droite, laquelle est beaucoup plus accidentée.

Il arrive parfois que l'expression "longueur d'onde" remplace celle de fréquence. L'important, dans ce cas, est de se souvenir qu'à une haute fréquence correspond une courte longueur d'onde, alors qu'à une basse fréquence correspond une grande longueur d'onde: 200 Hz ≃ 2 m; 8 000 Hz ≃ 4,3 cm (voir illustration 4).

L'autre paramètre important dans la description du bruit est la pression sonore. Comme nous l'avons vu plus tôt, le son est une onde de pression, c'est-à-dire que lorsque cette onde frappe un objet, elle y exerce une pression (poussée). L'unité de mesure utilisée dans le système international (SI) est le pascal (Pa), ou son multiplicatif, le micro-pascal (µPa). Cette unité pose un problème à cause de la différence d'ordre de grandeur entre le seuil d'audition (20 µPa ou 0,000020 Pa) et le seuil de douleur (100 000 000 µPa). Cette différence est de l'ordre de 10^6 (six zéros de différence), c'est-à-dire un rapport de un pour un million. Comme exemple concret des problèmes que pose l'utilisation

Illustration 4. COMPARAISON D'ONDES DE HAUTE ET BASSE FRÉQUENCE

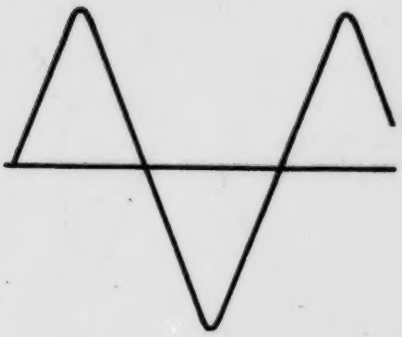


Figure 1. Basse fréquence, c'est-à-dire qu'elle a peu de cycles pour un espace donné, donc que les cycles peuvent être plus grands.

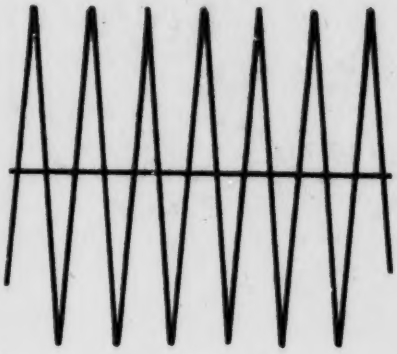


Figure 2. Haute fréquence, c'est-à-dire nombre de cycles pour un espace donné, d'où le fait qu'ils sont plus courts.

du micro-pascal, il est impossible de concevoir un instrument à affichage précis en faisant appel à une gamme numérique de cette ampleur.

1.3 Le décibel

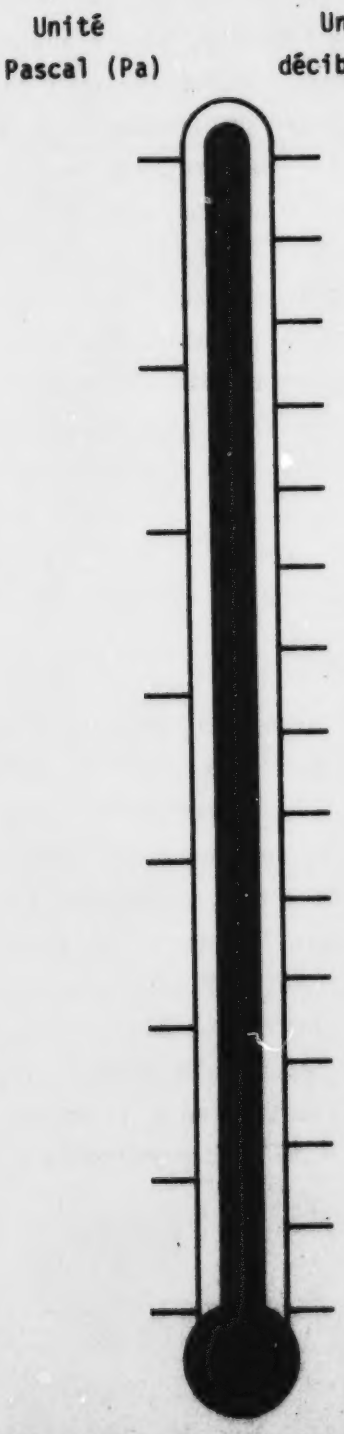
Puisqu'il était difficile d'utiliser une telle gamme pour l'affichage, une autre échelle a été adoptée: celle des décibels (dB). Il s'agit d'une échelle logarithmique; le seuil d'audition se situe à 0 dB et le seuil de douleur, à 140 dB.

À cause de la nature particulière de l'échelle logarithmique, il ne faut pas additioner directement deux niveaux de pression sonore. Ainsi, le niveau de pression sonore total, en décibels, de deux machines produisant chacune 90 dB n'est pas de 180 dB, mais bien de 93 dB. Donc, lorsque le niveau sonore est doublé, il y a augmentation de 3 dB. C'est dire que chaque fois que la pression sonore double ou diminue de moitié, il faut ajouter ou soustraire 3 dB au niveau de pression sonore du milieu. Des informations supplémentaires sont données plus loin afin de faciliter les calculs.

Un autre trait intéressant de cette échelle est qu'elle se rapproche du fonctionnement de l'oreille humaine. Malheureusement, la concordance n'est pas parfaite; c'est pourquoi des chercheurs ont tenté de mettre au point des circuits électroniques pouvant bien simuler la réponse subjective de l'oreille. Ils ont ainsi mis au point les réseaux de pondération A, B, C et D. Les seuls encore couramment utilisés de nos jours sont: le circuit initial sans pondération, c'est-à-dire le circuit linéaire en décibels (dB), et le circuit à pondération "A" (dBA).

Le circuit linéaire permet d'évaluer le niveau de pression sonore du bruit tel que reçu par le microphone de l'instrument de mesure. Le circuit de pondération "A", quant à lui, permet de tempérer le niveau de pression sonore des bruits de basse fréquence. Cela est voulu, puisque les bruits de basse fréquence sont moins bien perçus par l'oreille humaine. Il en résulte que le niveau de pression sonore des bruits de basse fréquence est moindre selon une mesure de dBA que selon une mesure de dB. Les bruits de haute fréquence sont évalués presque identiquement, peu importe le circuit sélectionné (dB ou dBA). On peut voir à l'illustration 6 la courbe de pondération "A" de la norme ACNOR Z 107.1-1973, "Sonomètres".

Illustration 5. REPRÉSENTATION COMPARATIVE DES NIVEAUX SONORES



1.4 Les manifestations du bruit

La nature du bruit n'est pas uniquement liée à la fréquence ou à l'intensité, mais également à la variation du niveau sonore dans le temps (ce que nous appellerons les manifestations du bruit).

Ainsi, un bruit peut être continu et stable (voir illustration 7) s'il n'y a pas de variation brusque du niveau sonore dans le temps.

Illustration 6. COURBE DE PONDÉRATION "A" AVEC SA TOLÉRANCE

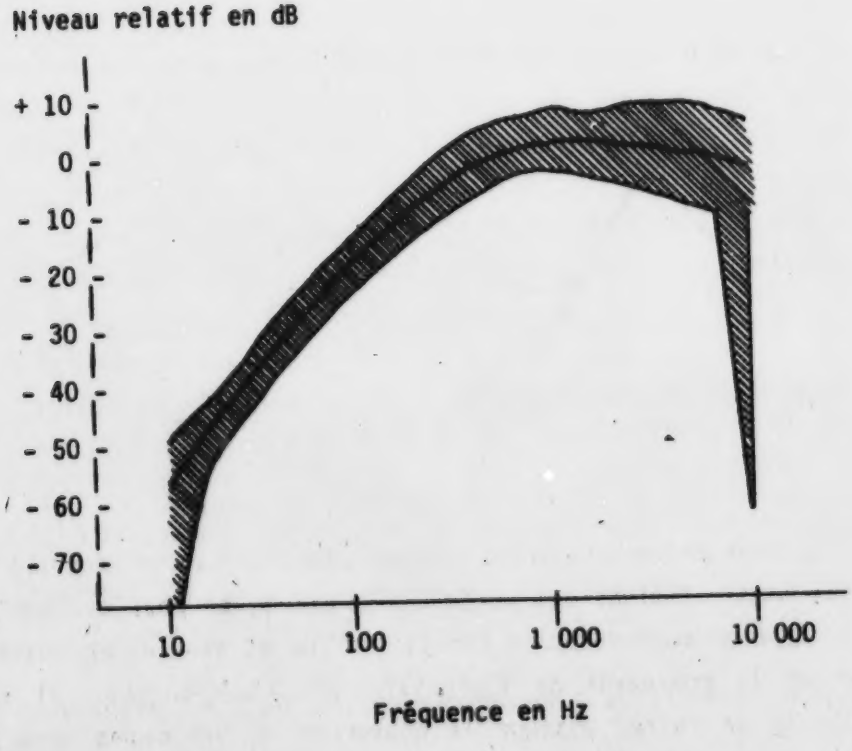
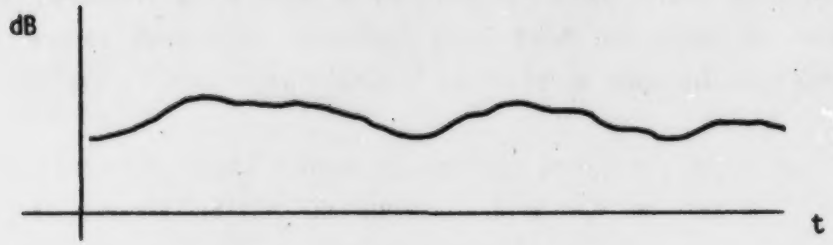


Illustration 7. VARIATION DOUCE DU NIVEAU SONORE EN FONCTION DU TEMPS



De la même manière, un bruit peut être continu, mais fluctuant s'il comporte des périodes stables reliées entre elles par des variations brusques du niveau de pression sonore (voir illustration 8).

Illustration 8. BRUIT CONTINU FLUCTUANT

Note: Les niveaux présentant une stabilité sont reliés par de brusques variations verticales.

Lorsqu'on doit mesurer un bruit continu, il faut savoir laquelle de ces deux manifestations est en jeu. En effet, on peut évaluer le premier type de manifestation (bruit continu et stable) en suivant simplement le mouvement de l'aiguille sur l'affichage. Il est possible de le faire, puisque le mouvement ne varie pas trop en

amplitude et est suffisamment lent pour être suivi de l'oeil par l'utilisateur. Celui-ci peut alors faire une moyenne valable du niveau de pression sonore. Par contre, il est plus délicat d'évaluer la seconde manifestation (bruit continu et fluctuant) parce que même si l'aiguille reste stable pendant certaines périodes, elle bouge brusquement entre chacune d'elles. Il devient alors difficile d'obtenir une bonne évaluation puisque l'opérateur ne peut suivre adéquatement le mouvement de l'aiguille. Lorsqu'il faut évaluer le niveau de pression sonore d'un tel type de bruit, il est nettement préférable de recourir à des instruments pouvant faire un calcul électronique de la moyenne.

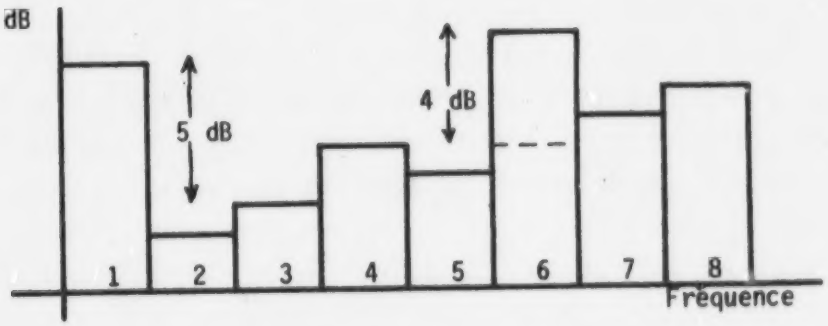
Il y a un autre élément à considérer lorsqu'on mesure un bruit continu: c'est la présence de sons purs. Ceux-ci correspondent aux cas où une grande partie de l'énergie sonore est contenue dans une bande étroite de fréquence. Ces sons purs sont détectés lors d'une analyse en bande de fréquence à l'aide d'un filtre d'octave ou de tiers d'octave. Au cours de cette analyse, le spectre sonore est séparé en tranches en fonction de la fréquence. Pour chacune de ces tranches, le niveau de pression sonore correspondant est évalué. S'il y a un niveau de pression sonore beaucoup plus grand que les niveaux environnants, c'est qu'il s'agit probablement d'une bande de fréquence prédominante, c'est-à-dire d'un son pur. Une bande de fréquence prédominante se définit comme suit:

> "Une bande de fréquence dont le niveau passe par un maximum qui excède de 4 dB ou plus la moyenne arithmétique des niveaux de l'octave inférieure et de l'octave supérieure et, pour les bandes extrêmes du spectre sonore, dont le niveau dépasse de 5 dB celui de l'octave contiguë".
>
> (Article 1 du Règlement)

Une représentation d'un tel cas est donnée à l'illustration 9.

Il est intéressant d'évaluer ces bandes surtout lorsque le son est audible à l'oreille*. De plus, pour s'assurer de la conformité au Règlement, il faut vérifier la présence de ces sons purs lorsque le niveau mesuré est proche de la limite d'exposition permise. Le tableau 1 indique quelques-unes des sources possibles de sons purs.

Illustration 9. BANDE DE FRÉQUENCE PRÉDOMINANTE



Note: Si la bande 1 a un niveau de pression sonore supérieur d'au moins 5 dB à celui de la bande 2, il s'agit d'une bande prédominante. Dans le cas de la bande 6, il faut que le niveau correspondant soit au moins supérieur de 4 dB à la ligne pointillée, laquelle représente la moyenne arithmétique des bandes 5 et 7.

* L'analyse en bande d'octave ou de tiers d'octave est surtout utile pour des études techniques effectuées dans le cadre d'un projet d'insonorisation ou d'isolation.

Tableau 1. SOURCES POSSIBLES DE SONS PURS

Système électrique	Moteur électrique Générateur Alternateur
Système comportant des pales	Système de ventilation Turbine
Machine mécanique rapide	Trieuse de lettres

Il nous reste à examiner un dernier type de manifestation du bruit qui a beaucoup d'importance: c'est celui des bruits produits par impact. Le niveau de pression sonore qui est alors atteint peut être très élevé, tout en étant de durée très courte. Il existe deux notions reliées à la mesure de ces niveaux de pression sonore: la mesure réelle et la mesure subjective. La mesure réelle consiste à mesurer l'énergie totale reçue par l'oreille; pour ce faire, on utilise les fonctions sonométriques "Peak" ou "Peak Hold". La mesure subjective consiste à mesurer l'énergie décodée par l'oreille; on utilise pour cela la fonction "Impulse" ou "Impulse Hold".

L'exemple suivant permettra de comprendre plus facilement la différence entre les deux fonctions.

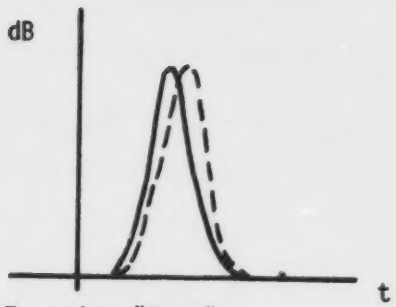
Considérons un coup de pistolet. Le niveau de pression sonore produit est très élevé, alors que la durée de l'impulsion sonore est très courte. Voyons ce que donnerait une mesure effectuée à l'aide de la fonction "Peak" ou "Peak Hold". Puisque la durée de l'impulsion est très courte et que le niveau de pression sonore est très élevé, il faut que l'instrument de mesure soit très rapide pour suivre le signal sonore. La fonction "Peak" a un temps de

montée de quelques dizaines de microseconde (µs). Une microseconde vaut 0,000001 seconde. Donc, si la durée de l'impulsion est environ du même ordre de grandeur, il est possible d'obtenir une bonne évaluation du bruit produit par le coup de pistolet puisque l'aiguille aura atteint le niveau maximum avant que ce niveau de pression ne commence à descendre, et y restera positionnée.

Par contre, si l'on utilise la fonction "Impulse" pour mesurer le même bruit, le résultat sera différent. La raison en est que cette fonction permet seulement un temps de montée de quelques dizaines de milliseconde (ms); elle est donc environ 1 000 fois moins rapide que le mode "Peak" (une milliseconde vaut 0,001 seconde). Ainsi, lorsque le bruit est produit, l'aiguille commence à suivre le signal sonore dans sa montée, mais puisque la croissance du signal est presque instantanée et que la montée de l'aiguille est seulement de quelques dizaines de milliseconde, le niveau de pression sonore du signal croît trop vite pour être suivi par l'instrument. De plus, puisque le bruit est très court, aussitôt parvenu à son maximum, le niveau de pression sonore du signal commence à descendre, alors que l'aiguille est toujours en train de monter. En redescendant, le niveau de pression sonore de l'impulsion croise celui qu'indique l'aiguille. À ce moment, celle-ci cesse de monter pour plutôt redescendre en suivant la baisse du bruit impulsif. La fonction "Impulse" ne permet donc pas d'évaluer la valeur réelle d'une impulsion de courte durée. Le résultat que l'on obtient est plutôt la quantification du niveau de bruit perçu par l'oreille.

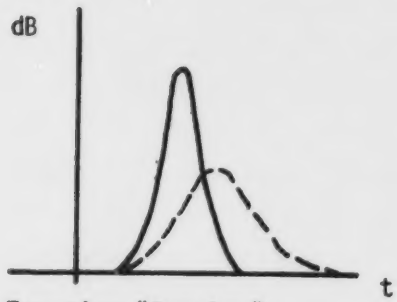
Il est donc important de comprendre immédiatement la différence entre ces deux fonctions (Peak et Impulse). Un bruit d'impact tel que décrit plus haut, s'il est d'un niveau suffisamment élevé, peut instantanément provoquer la perforation des tympans. La mesure du niveau réel permet d'en faire une évaluation exacte, alors que la mesure effectuée à l'aide de la fonction "Impulse", à cause de sa sous-estimation, indiquera une valeur pondérée. L'illustration 10 résume graphiquement les notions qui viennent d'être présentées.

Illustration 10. REPRÉSENTATION DES FONCTIONS "PEAK" ET "IMPULSE"



Fonction "Peak"

Figure 1. La ligne pointillée indique la réponse de la fonction "Peak", laquelle peut évaluer presque exactement le niveau de l'impulsion.



Fonction "Impulse"

Figure 2. La réponse de la fonction "Impulse" n'a pas le temps d'atteindre le maximum avant de redescendre.

Il reste un dernier élément important à mentionner au sujet de la propagation du bruit. À mesure que l'onde sonore progresse dans l'espace, l'énergie se dissipe. Cette diminution de l'intensité (I) est inversement proportionnelle à la distance (d) au carré. Cela veut dire que chaque fois que la distance de propagation double, l'intensité de l'onde devient quatre fois moindre.

$$I \propto 1/d^2$$

On peut facilement visualiser ce phénomène en examinant l'illustration 11. Soit une source émettant une onde sonore. L'intensité se trouve répartie sur la plus petite sphère entourant la source, distante de "r". Lorsque, après avoir progressé, l'onde sera à une distance double (R = 2r), la nouvelle surface sera alors quatre fois plus grande, et donc l'intensité quatre fois moins forte.

Sphère 1: $S_1 = 4 \pi r^2$

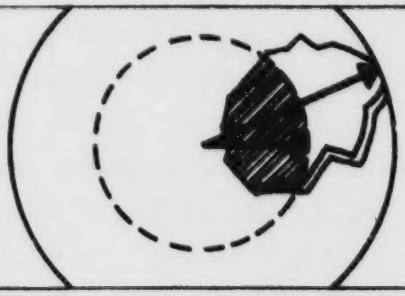
Sphère 2: $S_2 = 4 \pi R^2 = 4 \pi (2r)^2$

$= 4 \pi 4r^2 = 4 (4 \pi r^2)$

$S_2 = 4 S_1$

Puisque l'intensité se répartit sur toute la surface de la sphère, elle sera alors quatre fois plus dispersée sur la seconde sphère que sur la première, donc quatre fois moins grande.

Illustration 11. VARIATION DE L'INTENSITÉ SONORE EN FONCTION DE LA DISTANCE



Note: Soit une source au point "O"; le bruit est émis dans toutes les directions. Lorsque la distance double, l'intensité devient quatre fois moindre.

1.5 Quantités réglementées

Lorsqu'on doit effectuer des mesures de bruit, il faut savoir que certaines d'entre elles sont réglementées.

Ainsi, les méthodes utilisées doivent être, dans la mesure du possible, conformes à la norme ACNOR Z 107.2-1973, intitulée "Méthodes de mesures de niveaux de pression acoustique", tel que mentionné à l'article 55 du Règlement. Cette norme expose des

méthodes normalisées à suivre lorsqu'on procède aux mesures. La seule exception est l'évaluation des bandes de fréquence prédominante. Dans ce cas, le niveau de pression sonore du bruit continu doit être évalué selon l'annexe F du Règlement.

On trouve également dans le Règlement, à l'article 45, un tableau établissant le temps d'exposition permis pour chaque niveau de bruit. Le niveau de bruit correspond en gros à la quantité moyenne de bruit auquel le travailleur est exposé durant son quart de travail.

L'article 48 du Règlement régit l'exposition aux bruits de type "impulsionnel". On y trouve le nombre maximum de bruits impulsifs permis pour chacun des niveaux de pression sonore.

On trouvera en annexe des exemples d'utilisation de ces dispositions réglementaires portant sur le bruit.

1.6 L'oreille

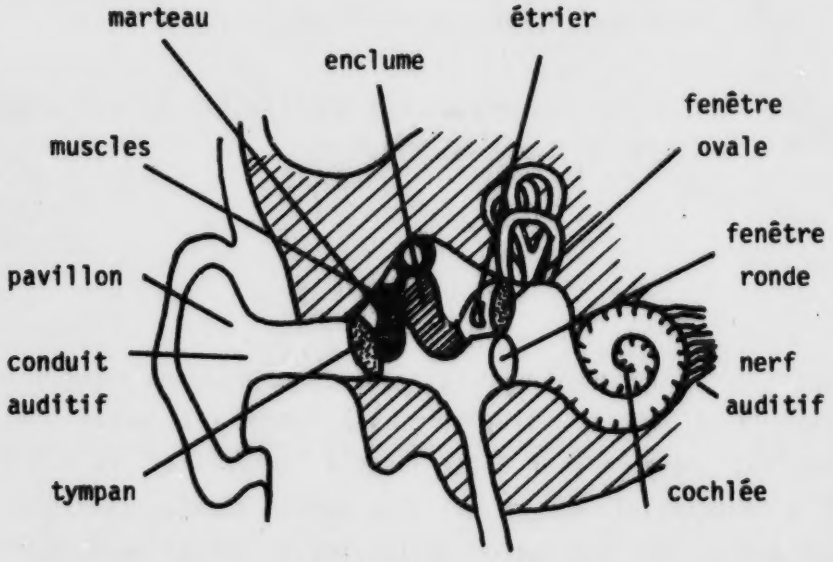
C'est sur l'oreille que le bruit agit. Une personne exposée régulièrement à des bruits trop intenses subit une perte auditive progressive, laquelle peut aller jusqu'à la surdité. Mais l'exposition à certains niveaux de pression sonore élevés n'entraîne pas automatiquement une diminution de l'ouïe, si des périodes de repos suffisantes sont prévues. Exception faite des bruits impulsifs très élevés, qui peuvent endommager instantanément les cellules nerveuses de l'oreille interne, c'est l'exposition régulière au bruit qui engendre la surdité.

L'onde sonore frappe le pavillon de l'oreille et pénètre dans le conduit auditif, qui mène au tympan. Ce conduit permet une adaptation de la pression sonore entre l'environnement et le tympan.

Lorsque l'onde sonore frappe le tympan, celui-ci se met à vibrer en accord avec l'onde incidente. Ces vibrations sont ensuite transmises à l'intérieur de l'oreille grâce à trois osselets: le marteau, l'enclume et l'étrier. Ces osselets agissent comme un amplificateur.

Ils sont reliés, à l'autre extrémité, à la fenêtre ovale, laquelle sert d'entrée à la cochlée. Ils font ainsi le lien entre le milieu air (tympan) et le milieu liquide (cochlée).

Illustration 12. L'OREILLE HUMAINE



La cochlée est l'organe principal de l'ouïe. Elle contient les cellules auditives. Celles-ci sont distribuées tout au long de la cochlée. Plus on pénètre en profondeur dans le canal cochléaire, plus les cellules que l'on rencontre sont sensibles aux basses fréquences. Par contre, lorsque la fréquence est plus élevée, ce sont les cellules proches de l'entrée de la cochlée qui répondent le mieux aux ondes sonores. Donc, puisque les cellules sensibles aux bruits de haute fréquence se trouvent au début de la cochlée

et que les bruits industriels se situent entre 3 000 et 5 000 Hz, on comprend pourquoi les premières altérations professionnelles de la cochlée se localisent à l'entrée de celle-ci.

Sous l'action du bruit, l'oreille peut s'adapter. Cette adaptation est possible grâce à la présence de muscles reliés au marteau et à l'étrier. Ainsi, un son aigu provoque la contraction de ces muscles, ce qui diminue la transmission des vibrations. La même chose se produit en présence d'un bruit violent. Mais si ce bruit est trop violent (bruit impulsif), les muscles n'ont pas le temps de réagir et de protéger l'oreille. De plus, si les muscles sont continuellement sollicités par un environnement bruyant, ils perdent de leur efficacité et ne peuvent plus jouer leur rôle de protection.

2 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ET STRATÉGIE

Toutes les fois qu'on doit sélectionner un instrument de mesure, il faut tout d'abord définir le contexte dans lequel il sera utilisé. Aux fins du présent guide, ce contexte est lié aux conditions environnementales et à la stratégie de mesure. Une bonne manière de le définir consiste à répondre à six questions simples:

Pourquoi ?
Quoi ?
Comment ?
Où ?
Quand ?
Qui ?

2.1 Pourquoi ?

Quels sont les objectifs visés ?

On peut vouloir effectuer des mesures pour de nombreuses raisons, allant de l'identification du contaminant à la recherche scientifique.

L'identification consiste uniquement à définir l'identité du contaminant présent dans l'aire de travail. En ce qui a trait au bruit, cette identification peut se faire par simple audition, sauf lorsqu'on veut vérifier s'il y a ou non des bandes de fréquence prédominante. Dans ce dernier cas, il est possible qu'il faille recourir à des instruments de mesure appropriés, puisque les sons

purs ne sont pas toujours clairement audibles. Pour ce qui est de la recherche, la spécificité des besoins dépasse largement le cadre du présent guide. Il est préférable que les personnes dont les besoins se situent à ce niveau consultent directement les quelques spécialistes en la matière.

Les autres principales raisons justifiant la prise de mesures sont l'inspection et l'évaluation. Même s'il s'agit de deux tâches différentes, elles ont plusieurs points en commun.

L'inspection correspond, dans le présent guide, aux mesures prises dans le but de vérifier si les conditions du milieu ou le degré d'exposition du travailleur sont conformes à une norme donnée, souvent celle du Règlement sur la qualité du milieu de travail. Par contre, l'évaluation correspond à la quantification d'un contaminant sans qu'on ait nécessairement à comparer le niveau mesuré à une norme. Les raisons motivant l'évaluation peuvent être très variées: documenter des dossiers d'exposition, recueillir des données en vue d'un traitement statistique ultérieur, élaborer une carte sonore, guider l'amélioration du milieu ou encore vérifier rapidement si le niveau de pression présente un risque selon une norme d'exposition. Si le niveau sonore mesuré lors de l'évaluation présente un tel risque, le responsable doit recourir, s'il y a lieu, à une méthode de mesure plus précise. Il refait alors les mesures afin de se trouver en possession de résultats représentatifs, pouvant être comparés à une norme visant l'exposition des travailleurs.

La qualité de l'instrument à utiliser est fonction de l'objectif poursuivi. Généralement, l'instrument choisi pour l'évaluation n'aura pas besoin d'être aussi précis que celui dont on se servira pour l'inspection. Cette règle n'est toutefois pas immuable, et l'objectif choisi peut laisser une grande latitude en matière de sélection de l'instrument.

2.2 Quoi ?

Quel contaminant désire-t-on évaluer ?

Dans le domaine du bruit, le contaminant à identifier est en soi évident. Toutefois, il est bon de se rappeler que les personnes exposées ont une perception subjective du bruit environnant; cela peut s'avérer très utile lorsque vient le moment, très important, de définir les manifestations du bruit. Le tableau 2 donne une liste de ces manifestations que nous avons déjà passées en revue au chapitre 1. Chaque manifestation exige des fonctions bien précises des instruments de mesure. La façon dont le bruit se présente a donc un effet direct sur le choix de l'instrument, d'où la nécessité de bien la déterminer au préalable.

Ainsi, la détection de bandes de fréquence prédominante exige souvent des instruments complexes, que l'on travaille en laboratoire ou sur le terrain. La quantification d'un bruit continu fluctuant est plus exigeante que celle d'un bruit continu stable, alors que la mesure des bruits impulsifs exige des instruments aux caractéristiques bien précises.

Tableau 2. MANIFESTATIONS PHYSIQUES DU BRUIT

Manifestations
Bandes de fréquence prédominante
Bruit continu stable
Bruit continu fluctuant
Bruits impulsifs

2.3 Comment ?

Quelle sera la stratégie d'échantillonnage utilisée ?

Souvent, la stratégie choisie détermine le type d'instrument qui sera utilisé. En effet, certains instruments correspondent à des stratégies bien précises.

Le mot "stratégie" représente ici les moyens qui seront utilisés pour obtenir les résultats désirés. Souvent, cela correspond à la méthode de mesure jugée appropriée pour le cas traité. Les deux principales méthodes sont l'échantillonnage personnel (par instrument portatif) et l'échantillonnage à poste fixe. Les autres types de stratégie correspondent beaucoup plus à des démarches s'appliquant à des cas particuliers.

Ainsi, pour évaluer l'exposition individuelle d'un travailleur, il existe des instruments portatifs qui calculent automatiquement le niveau équivalent du bruit reçu. Chaque fois que l'on parle d'exposition individuelle (personnelle), on fait référence à l'évaluation de l'exposition d'un travailleur en particulier, indépendamment des postes de travail qu'il occupe durant la journée.

Dans le cas de l'échantillonnage à poste fixe, il s'agit de quantifier le bruit à un point précis dans l'aire de travail. Si les conditions sonores dans cette aire sont homogènes, une mesure à un point fixe, bien choisi, peut suffire pour une simple vérification. La quantification à poste fixe peut comporter une seule mesure, pour l'évaluation sommaire, ou comprendre une série complète de mesures pouvant mener à une cartographie sonore. Pour aider à procéder à ce type d'échantillonnage, il existe plusieurs protocoles de mesure s'appliquant à des situations bien précises.

En plus de déterminer le type d'instrument utilisé, la stratégie fait entrer en jeu d'autres critères qui lui sont propres. Ainsi, si l'on décide de faire de l'échantillonnage tout au long d'un quart de travail de 8 heures, l'autonomie de l'appareil doit être au minimum de 8 h 30 mn (compte tenu du temps requis pour les mises au point). De plus, l'échantillonnage personnel doit pouvoir se faire, de préférence, au moyen d'instruments portatifs n'entravant pas les gestes du travailleur.

2.4 Où ?

À quels endroits et dans quelles conditions seront prises les mesures ?

Il s'agit donc ici de préciser quel est l'environnement de travail. On doit faire un relevé exhaustif des conditions environnementales présentes dans les lieux où sera utilisé l'instrument. Il est également important de considérer les situations extrêmes auxquelles l'instrument peut être exposé, ne serait-ce que brièvement.

Lorsqu'on fait ce relevé des conditions environnementales, il faut, selon le cas, noter la plage ou la nature de l'élément environnemental. Ainsi, dans le cas de la température, on note la valeur moyenne et les valeurs extrêmes; s'il y a présence de poussière, il peut être suffisant d'en noter la source et la nature (poussière de métal, de bois, etc.). Un autre élément qu'il serait intéressant d'inscrire est l'endroit où la mesure de la contrainte environnementale est effectuée. Cette information peut être très utile par la suite pour obtenir une représentation complète de l'aire de travail. Le tableau 3 donne une liste des contraintes environnementales à étudier.

Tableau 3. CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Atmosphère corrosive	Puisque les instruments de mesure du bruit sont constitués de circuits électroniques, ils doivent être isolés de l'atmosphère pour éviter une usure prématurée.
Atmosphère inflammable	Les instruments doivent faire l'objet d'approbations attestant qu'ils n'émettent pas d'étincelles, afin d'écarter tout risque d'explosion.
*Champ magnétique	Peut agir sur la membrane du microphone et fausser la mesure.
Humidité	Il faut éviter qu'il y ait condensation à l'intérieur du microphone, car cela donnerait lieu à des courts-circuits intermittents.
Poussière	Si elle pénètre dans l'instrument, elle peut s'agglomérer et obstruer les orifices de ventilation, ce qui provoquerait une surchauffe de l'instrument.
*Pression ambiante	Elle joue un rôle très important dans la sensibilité du microphone en rapport avec la pression à l'intérieur de celui-ci.
Température	Elle agit au niveau de la membrane du microphone et peut en faire varier la sensibilité et la réponse en fréquence.
*Vent	Lorsqu'il parvient au microphone, il produit un bruit supplémentaire, en plus d'exercer une pression.
*Vibration	Les vibrations peuvent influencer la membrane, surtout lorsqu'elles l'atteignent perpendiculairement. Il en résulte une mesure erronée.

Note: Les éléments marqués d'un astérisque peuvent créer une interférence avec le bruit sans que la manifestation en soit apparente.

Également, il importe de déterminer les dangers de l'utilisation d'un instrument dans certains milieux de travail. Par exemple, à cause de la nature de certains produits chimiques présents, les instruments doivent faire l'objet de certaines approbations avant d'être utilisés dans certaines aires de travail. Il faut donc toujours s'assurer des exigences sécuritaires du milieu en regard des instruments utilisés. Par ailleurs, le temps que l'on consacre à trouver un instrument approprié vaut la peine si l'on songe aux dommages éventuels qu'on pourrait causer, par exemple, en utilisant un instrument quelconque pouvant produire une décharge électrique dans une atmosphère inflammable.

Finalement, pour clore la question de l'influence des contraintes environnementales sur l'instrument, faisons une dernière mise en garde: on doit tenir compte de toutes les contraintes environnementales qui s'apparentent au bruit. Il est nécessaire d'en faire le relevé, sans quoi ces éléments pourraient fausser les résultats sans que l'opérateur s'en aperçoive. La pression peut être un bon exemple de ce type d'interférence. On sait que le bruit est une onde de pression sonore, et que c'est la pression qu'elle exerce sur le microphone de l'instrument qui permet l'évaluation du niveau de bruit. Si la pression atmosphérique dans le milieu de travail exerce une forte influence sur le microphone en plus de l'onde sonore, l'évaluation du bruit s'en trouve faussée. Si l'on est attentif à ces contraintes environnementales, il devient possible d'élaborer des protocoles de mesure qui permettront de supprimer ces interférences lorsqu'on effectuera les mesures. Dans le tableau 3, les éléments environnementaux qui s'apparentent au bruit sont indiqués par un astérisque.

Outre les contraintes environnementales, il faut tenir compte de l'architecture du milieu. Celle-ci peut en effet avoir une influence directe sur la validité des mesures effectuées, et donc sur la stratégie. Il faut tenir compte du mode de propagation du son et, notamment, de sa réflexion sur les parois de béton ou de

métal. Ce facteur est important lorsqu'il faut mesurer le bruit produit en un point, tout en réduisant au minimum l'influence du bruit ambiant. Finalement, il faut aussi tenir compte des éléments temporaires qui modifient sporadiquement la configuration du milieu, tels la présence d'un véhicule.

2.5 Quand ?

À quels moments seront effectuées les mesures ?

Ce facteur influe indirectement sur le choix de l'instrument, puisque les conditions environnementales dont nous avons parlé à la section 2.4 (réponse à la question: "Où ?") peuvent varier en fonction du temps. Si les conditions environnementales varient de façon saisonnière, il faut en tenir compte et définir les divers extrêmes que cela entraîne. L'organisation du travail peut aussi changer en fonction du temps, provoquant un changement d'activité, qui à son tour peut influencer l'environnement. En tenant compte de tous ces facteurs, on doit tenter de choisir des conditions environnementales représentatives d'une année complète de travail.

Ainsi, ce facteur peut se manifester sous la forme de variations de température entre l'hiver et l'été. Une telle situation, si elle ne modifie pas le choix d'un instrument, incitera au moins le responsable à s'enquérir des précautions à prendre. Également, si le travail suit la demande du marché, il peut y avoir des périodes creuses qui demandent une quantification différente du niveau sonore selon la période de l'année.

Finalement, le facteur temps fait aussi entrer en jeu des critères particuliers, tels que le taux d'utilisation de l'instrument. Celui-ci est directement lié au nombre de mesures nécessaires en fonction du taux d'activité du travail.

2.6 Qui ?

Qui sera chargé de la prise des mesures ? .

Les types de personnes qui peuvent effectuer des mesures sont aussi nombreux que les raisons pouvant justifier la prise de ces mêmes mesures. C'est d'autant plus vrai que, la technologie aidant, les instruments se sont simplifiés. Ainsi, il existe des instruments prévus pour des tâches ou des quantifications bien précises. Dans ces cas-là, les contrôles de l'instrument ont été réduits au minimum, ce qui en facilite l'utilisation. L'opérateur n'a alors besoin que d'une formation rudimentaire. Ces instruments servent surtout à effectuer une évaluation sommaire de la qualité du milieu de travail.

Cependant, si, suite à l'analyse des besoins, on décide d'acquérir un instrument plus perfectionné, il faut songer à un cours de formation et en additionner le coût à celui de l'instrument. En effet, l'utilisateur de ces appareils doit avoir des connaissances plus approfondies pour obtenir des résultats valables.

Ainsi, lorsqu'on hésite entre deux types d'instrument ou deux instruments permettant d'effectuer les mêmes mesures, la compétence du responsable par rapport à l'un ou à l'autre des appareils peut devenir un critère de sélection.

3 TYPES D'INSTRUMENTS ET APERÇU SCHÉMATIQUE DE LA SÉLECTION

Dans le présent chapitre, nous présenterons brièvement les divers types d'instruments de mesure disponibles. Cette présentation sera suivie d'un tableau résumant les avantages et les désavantages de chacun des types d'instruments considérés.

La dernière partie du chapitre expose tout le processus de sélection d'un instrument de mesure, sous forme graphique, étape par étape.

3.1 Type d'instruments

Il y a trois types généraux d'instruments qu'on peut considérer pour l'échantillonnage et l'évaluation du bruit dans une aire de travail. Il s'agit des sonomètres, des dosimètres et des enregistreurs. Voici une brève description de chacun de ces types.

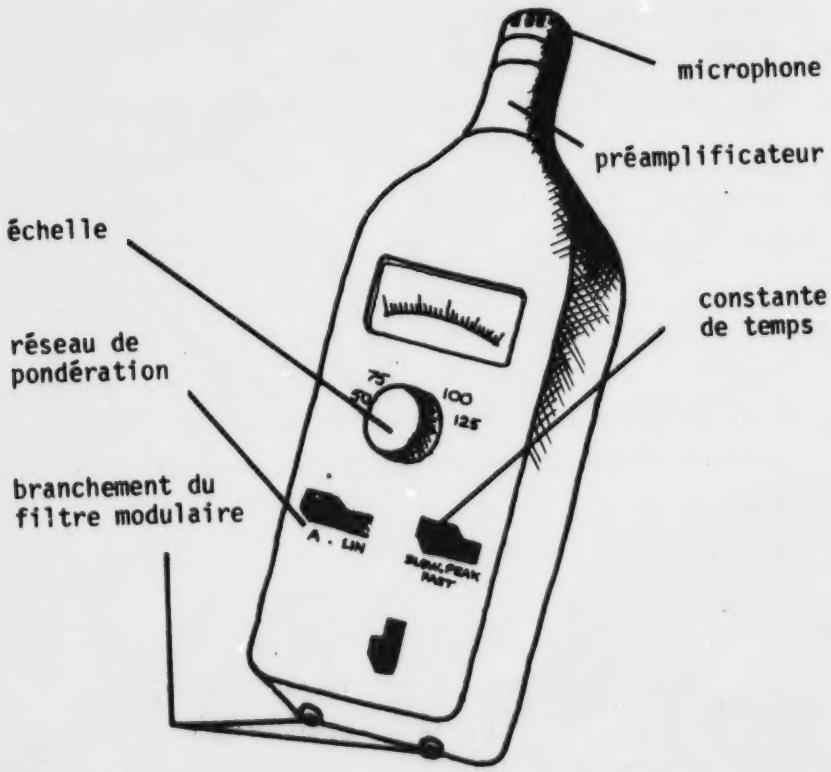
3.1.1 Sonomètres

Les sonomètres sont des instruments de mesure portatifs. Ils sont constitués d'un microphone, d'un amplificateur qui augmente le signal du microphone, et d'une unité de traitement électronique. Le résultat est indiqué sur un affichage galvanométrique ou numérique gradué en décibels.

Il s'agit d'un outil fondamental pouvant parfois assumer plusieurs fonctions. Selon sa complexité, l'instrument peut offrir les possibilités suivantes:

- Mesure du bruit continu en dBA, dBB, dBC, dBD et dB linéaires.
- Mesure du bruit impulsif "crête".
- Mesure des bandes de fréquence prédominante (à l'aide d'un filtre inclus ou modulaire).
- Mesures du niveau équivalent du bruit (L_{eq}).

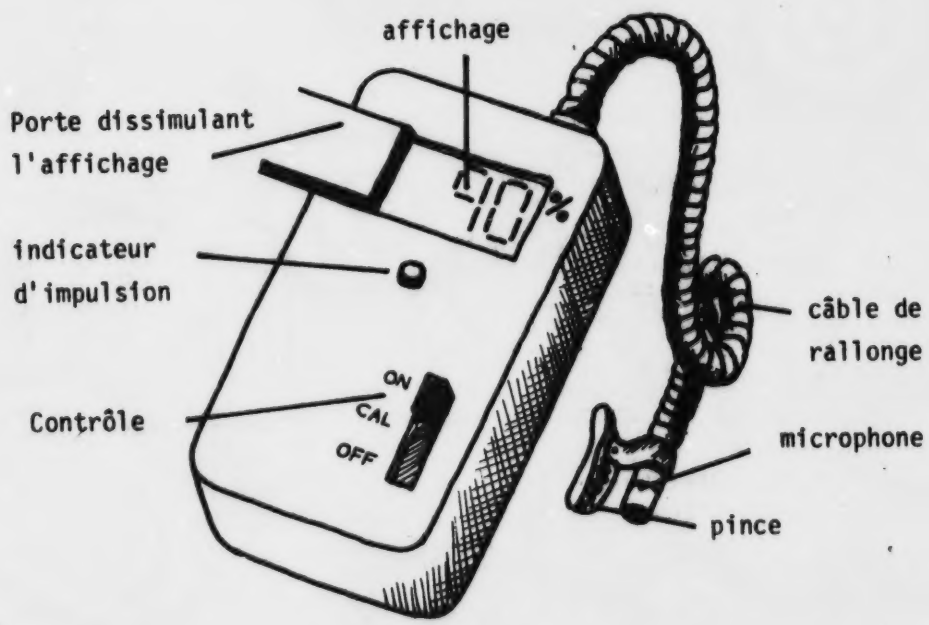
Illustration 13. SONOMÈTRE



3.1.2 Dosimètres

Le dosimètre est également constitué d'un microphone, d'un amplificateur et d'une unité de traitement électronique. C'est un instrument portatif destiné à être porté par un travailleur durant son quart de travail, et qui calcule automatiquement la dose de bruit reçu. Le calcul se fait en fonction de diverses variables telles que la durée du quart de travail.

Illustration 14. DOSIMÈTRE

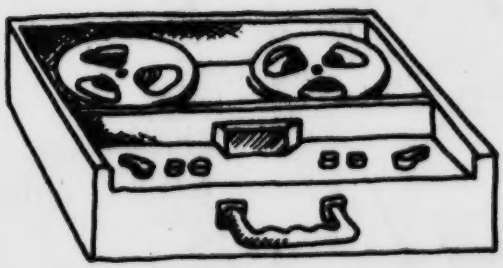


3.1.3 Enregistreurs

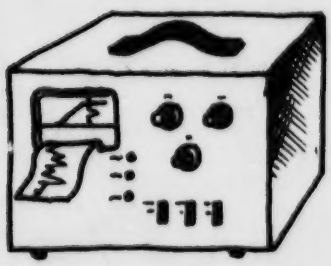
Dans le groupe des enregistreurs, il y a deux types importants d'instruments à considérer: les enregistreurs magnétiques et les enregistreurs graphiques. Ils permettent de conserver, sur support solide, une représentation du bruit pour utilisation ultérieure.

L'enregistreur magnétique permet un enregistrement direct du bruit en vue d'effectuer plus tard une étude plus précise, souvent ce que l'on nomme analyse en bandes de fréquence. L'enregistreur graphique, pour sa part, trace sur papier les niveaux sonores de l'environnement. Les relevés obtenus grâce à ce dernier type d'instrument peuvent être immédiatement consultés, alors que ceux qui sont enregistrés sur bande magnétique demandent un traitement supplémentaire.

Illustration 15. ENREGISTREUR MAGNÉTIQUE ET ENREGISTREUR GRAPHIQUE



Enregistreur magnétique



Enregistreur graphique

3.2 Aperçu schématique de la sélection d'un instrument de mesure

L'illustration 16 donne de façon schématique les étapes du processus de sélection d'un instrument de mesure.

3.2.1 Définition des conditions environnementales et de la stratégie

Cette étape du processus a été décrite au chapitre 2 "Conditions environnementales et stratégie". Les renseignements de cette nature sont essentiels pour le choix d'un instrument bien approprié au milieu de travail.

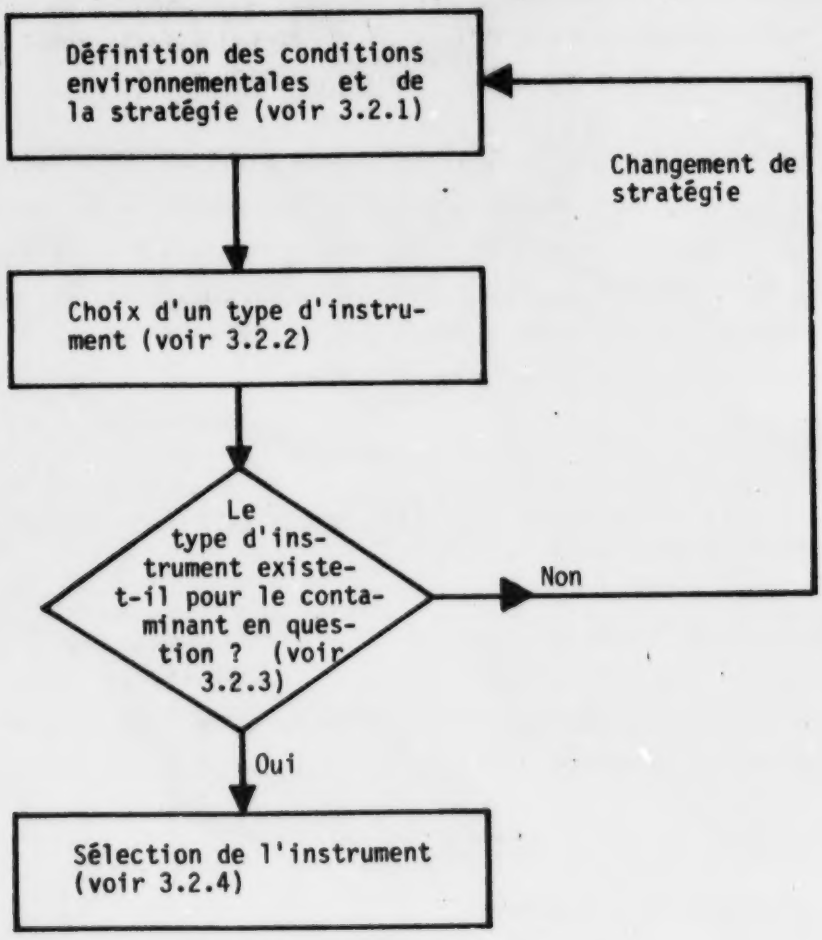
3.2.2 Choix d'un type d'instrument

Le but de cette étape est de déterminer le type d'instrument qui est le plus apte à quantifier ou à échantillonner le bruit dans une aire de travail donnée. Le choix se fait d'abord en fonction de la nature physique du bruit puis, à un niveau plus élevé, en fonction des raisons motivant les mesures. Cette démarche est démontrée à l'illustration 17.

Tableau 4. AVANTAGES ET DÉSAVANTAGES DES DIVERS TYPES D'INSTRUMENTS

	AVANTAGES	DÉSAVANTAGES
Dosimètre	Facile à porter pour le travailleur - Facile à calibrer - Très bonne autonomie - Résultats équivalant à la période d'échantillonnage.	Sauf dans de rares cas, ne donne pas d'historique - Ne considère pas les impulsions dans ses calculs - Exige une surveillance du porteur.
Enregistreur magnétique	Permet une étude approfondie - Historique disponible - Document pouvant être conservé - Possibilité d'utiliser une piste pour enregistrer les commentaires.	L'utilisateur doit être formé - Données indirectes - Exige l'accès à un laboratoire - Coût élevé.
Enregistreur graphique	Historique disponible - Document pouvant être conservé - Résultats directement accessibles.	L'utilisateur doit être formé - Interprétation plus difficile.
Sonomètre à pondération "A"	Facile à utiliser - Résultats immédiats - Portatif - Calibrage facile - Compatible avec des instruments périphériques.	Limité dans ses applications - Mode d'utilisation non uniforme - Précision moindre (type 2 - 3).
Sonomètre intégrateur	Résultat direct - Période d'intégration contrôlable - Portatif - Compatible avec des instruments périphériques.	L'utilisateur doit être formé - Coût: moyen à élevé - Non disponible avec L_{eq} selon la norme de l'OSHA.
Sonomètre avec crête	"Retenue" gelant la valeur mesurée - Compatible avec des instruments périphériques - Portatif - Utilisation et étalonnage faciles.	Risque de surcharge due à l'environnement - Utilisation plus exigeante - Mal adapté pour le dénombrement des impulsions.
Sonomètre et filtre d'octave	Portatif - Résultats immédiats - Généralement polyvalent.	Manipulation moins facile - Coût élevé - Utilisation plus spécialisée.

Illustration 16. ÉTAPES DE LA SÉLECTION D'UN INSTRUMENT DE MESURE



Le schéma de l'illustration 17 couvre presque toutes les possibilités généralement rencontrées, mais il serait illusoire de croire qu'il est totalement exhaustif. Il y aura toujours place pour l'imagination et pour les situations particulières.

Ainsi, on peut utiliser un enregistreur magnétique pour faire de l'échantillonnage dans le cadre d'une évaluation, afin de vérifier s'il y a ou non des bandes de fréquence prédominante. Cela peut être le cas d'une entreprise qui ferait effectuer l'analyse spectrale de son environnement sonore par un laboratoire, à partir d'enregistrements qu'elle a faits elle-même.

3.2.3 Le type d'instrument approprié existe-t-il pour le contaminant en question ?

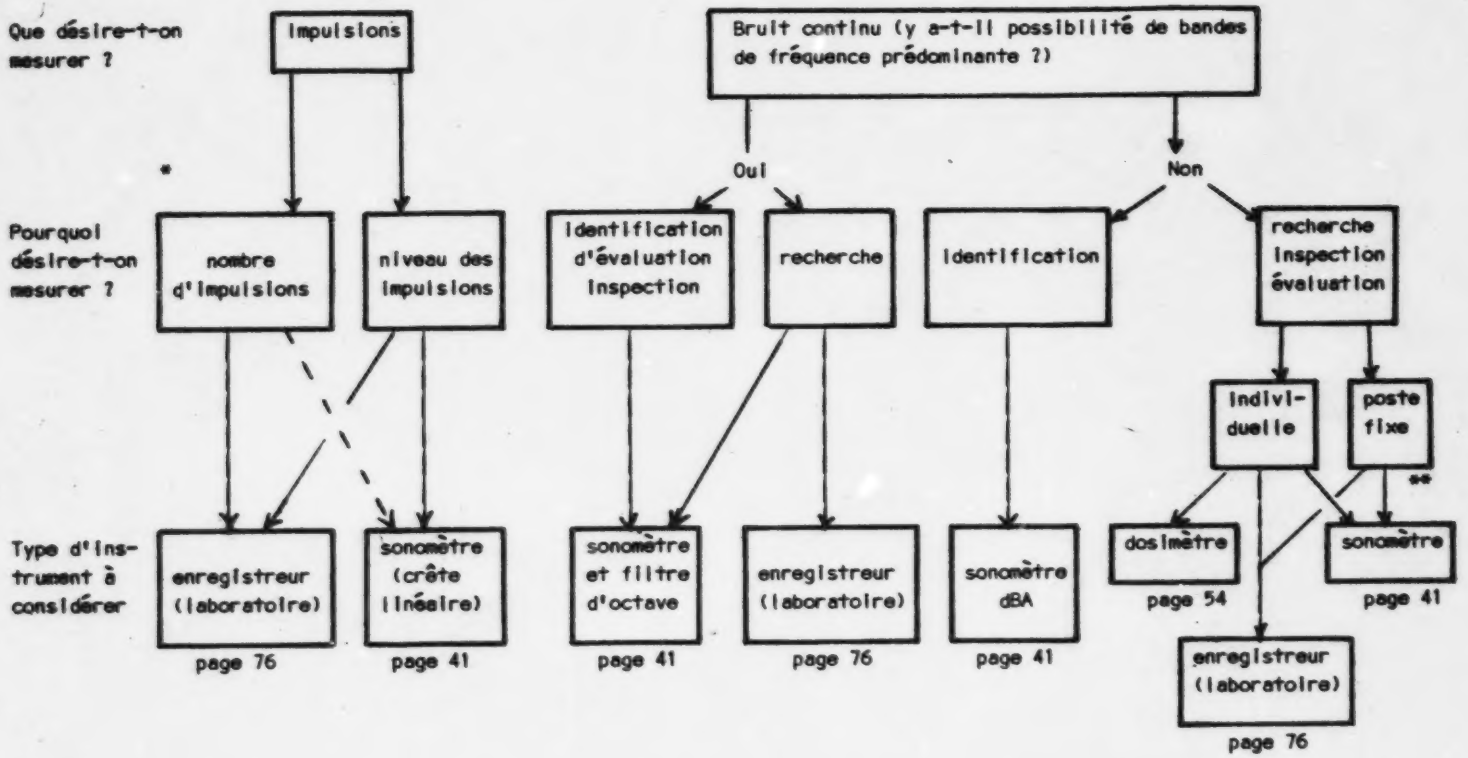
À cette étape du processus exposé à l'illustration 16, on a déjà pu déterminer le type d'instrument souhaité. S'il n'y en a pas, il faut modifier la stratégie de mesure en fonction des instruments disponibles sur le marché.

3.2.4 Sélection de l'instrument

Après le choix de l'instrument approprié (illustration 17), il serait bon de consulter l'information complémentaire que le présent guide fournit sur l'appareil; les pages correspondantes sont indiquées dans le tableau sous le nom de chaque instrument.

Cette information, regroupée dans le chapitre qui suit, permet de faire un choix final parmi plusieurs instruments d'un même type. Chaque catégorie d'instruments fait l'objet d'une analyse et d'une critique technique, accompagnées de points de référence numériques et techniques qui sont destinés à aider l'utilisateur du présent guide dans son choix.

Illustration 17. LE CHOIX DE L'INSTRUMENT APPROPRIÉ



Notes:

* On ne considère pas ici la possibilité de compter manuellement le nombre d'impulsions.

** Pour une étude de poste fixe:
Si le niveau sonore est stable, on peut utiliser un sonomètre dBA.
Si le niveau sonore est fluctuant, on doit utiliser un sonomètre intégrateur.

Les lignes pointillées indiquent qu'il existe très peu d'instruments aptes à remplir les objectifs visés.

4 ANALYSE ET CRITIQUE TECHNIQUE

Au chapitre prédécent, nous avons vu comment les besoins orientent le choix d'un ou de plusieurs types d'instruments. Nous étudierons maintenant plus à fond les types d'appareils disponibles. À cette fin, nous verrons pour chaque type une liste de critères techniques à considérer, ainsi que des notes et des valeurs de repère. Pour chaque catégorie d'instruments, une fois les critères énoncés, nous discuterons des avantages comparatifs des appareils, de leur polyvalence et de leurs utilisations respectives.

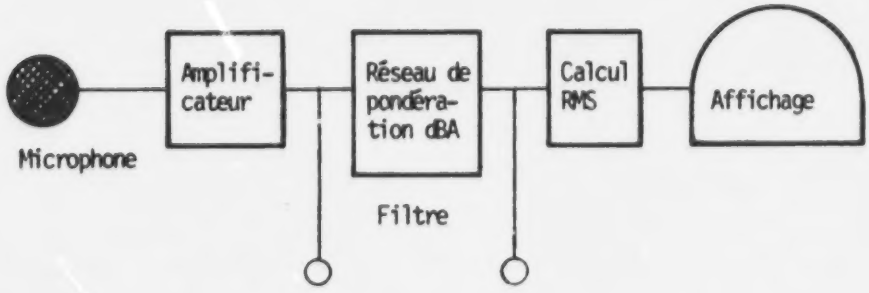
4.1 Sonomètres

Le sonomètre est un instrument portatif utilisé pour mesurer les niveaux de pression sonore. Il s'agit de l'instrument portatif le plus versatile qui soit dans ce domaine. Les genres de sonomètres vont du petit appareil de type III jusqu'à celui de type 0, entièrement numérique, qui est utilisé en recherche scientifique. Ces instruments sont donc classés initialement par types selon, grosso modo, leur précision. Celle-ci augmente du type III jusqu'au type 0. Généralement, on utilise le sonomètre de type III pour les évaluations très sommaires, alors que le type II sert surtout pour les mesures quotidiennes. À l'occasion, il faut avoir recours à un appareil de type I lorsqu'une grande précision est nécessaire. Il arrive aussi que le sonomètre soit utilisé comme capteur pour acheminer le signal vers un enregistreur.

Il serait utile d'examiner brièvement le mode de fonctionnement de ces instruments. Lorsque l'onde de pression sonore frappe par

incidence la membrane du microphone, celui-ci émet un signal électrique proportionnel à l'amplitude du bruit. Puisqu'au départ, ce signal est très faible, il faut qu'il soit amplifié avant de subir un premier traitement. S'il ne l'était pas, il se perdrait dans le bruit de fond des circuits électroniques. Dans le cas des sonomètres dBA, immédiatement après l'amplification, le signal est envoyé au réseau de pondération. Là, il est modifié selon la courbe de l'illustration 5 du premier chapitre afin qu'il corresponde mieux à la réponse de l'oreille humaine. Par la suite, le signal électrique est envoyé à une unité qui permet de calculer la valeur R.M.S. C'est cette valeur qui apparaît ensuite sur l'affichage.

Illustration 18. SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UN SONOMÈTRE



D'autres fonctions peuvent être installées sur ce sonomètre de base. Ainsi, l'unité de calcul R.M.S. peut être plus développée et posséder un détecteur de crêtes, ou encore, se voir ajouter un circuit avec mémoire pouvant calculer et emmagasiner la valeur du niveau équivalent du bruit. Dans le cas de l'analyse en bande de fréquence, il suffit d'installer les bornes du filtre de façon à court-circuiter le réseau de pondération.

4.1.1 Critères de sélection des sonomètres

Les critères qui suivent se rapportent aux sonomètres. Pour simplifier la consultation de cette section, nous avons divisé les instruments en catégories selon les fonctions qu'ils remplissent. Cette catégorisation ne traduit pas nécessairement la situation prévalant sur le marché.

4.1.1.1 Critères généraux

Les critères suivants s'appliquent à tous les sonomètres, dont les sonomètres d'usage général.

Alimentation
Elle devrait être, de préférence, à piles rechargeables.

Autonomie
Elle doit être évaluée en fonction de la fréquence et de la durée d'utilisation, tenir compte du temps nécessaire pour l'étalonnage, les ajustements et la recharge.

Bruit de fond
Doit être au minimum de 5 dB inférieur à la limite de détection inférieure de l'instrument. (Ex.: Pour une limite de détection de 20 dB, le bruit de fond ne doit pas exercer d'influence au-dessus de 15 dB).

Constantes de temps normalisées
Doit être muni des constantes de temps "lente" (slow) et "rapide" (fast) (voir temps de montée).

Construction

On doit évaluer l'instrument selon sa légèreté, ses dimensions, sa maniabilité, sa robustesse et la possibilité de le faire réparer facilement et ce, en fonction de l'usage qu'on désire en faire.

Contraintes environnementales

Il faut s'assurer que l'instrument peut fonctionner normalement dans l'environnement où l'on envisage de l'utiliser (voir tableau 3).

Coût

Bien définir le rapport coût/rendement en fonction des besoins, tout en n'oubliant pas de considérer le coût des accessoires et des stages de formation s'il y a lieu.

Délai de livraison

À vérifier auprès du vendeur et à préciser dans le contrat, car il peut varier énormément.

Détecteur

Il doit être de type quadratique ("RMS").

Distorsion

La distorsion dans l'instrument doit être réduite au strict minimum. Comparer le rendement des différents instruments considérés.

Entretien

On doit s'assurer que l'instrument exige un minimum d'entretien. S'enquérir des pièces à changer régulièrement, ainsi que de leur disponibilité.

Étalonnage externe
Le sonomètre doit pouvoir être étalonné facilement et rapidement de l'extérieur.

Gamme de fréquence
Doit être très large et, au minimum, se rendre jusqu'à 16 kHz. (Certains sonomètres peuvent monter jusqu'à 20 kHz).

Gamme dynamique
Les niveaux sonores couverts par l'instrument doivent être très étendus. (Plusieurs sonomètres vont jusqu'aux environs de 140 dBA, et certains d'entre eux montent jusqu'à 150 dBA).

Garantie
En vérifier les modalités et les limites.

Graduation
Elle doit être linéaire pour faciliter la lecture des données.

Limite de détection inférieure
La limite doit être la plus basse possible, mais il ne doit pas y avoir interférence avec le bruit de fond. (Nombre de sonomètres descendent jusqu'aux environs de 25 dBA).

Linéarité
Il faut s'assurer que la réponse du sonomètre demeure en tout temps à l'intérieur des limites de la tolérance définie par les normes auxquelles répond l'instrument.

Norme
Il faut vérifier que l'instrument respecte les normes de construction reconnues: Commission électrotechnique internationale (C.E.I.), American National Strandard Institute (ANSI), Association canadienne de normalisation (ACNOR).

Plage de lecture

Elle doit être assez large pour permettre de suivre facilement un signal (30 dB). Les valeurs des graduations doivent être indiquées de façon pertinente sur le cadran. Les extrémités des plages de lecture doivent se chevaucher.

Pondération

Tous les sonomètres doivent avoir la pondération "A" (représentée par l'abréviation dBA).

Précision

Se renseigner sur la précision de l'instrument à des seuils significatifs au regard du Règlement. (Ex.: 90 dBA, 115 dBA, 140 dBA).

Référence

Si possible, consulter des utilisateurs de l'instrument (envisagé), ainsi que des rapports d'évaluation.

Service après vente

En évaluer l'importance en quantité et en qualité. Vérifier, selon l'importance de l'achat, si le vendeur offre un cours de formation.

Sorties c.a. - c.c.

Vérifier si elles sont appropriées en vue, au besoin, de l'échantillonnage intégré.

Surcharge

L'instrument doit posséder un détecteur servant à localiser les surcharges qui se produisent dans le circuit.

Temps de montée
Il doit être de l'ordre de la seconde pour la constante de temps "lente" et de 125 millisecondes pour la constante de temps "rapide".

4.1.1.2 Sonomètre avec fonction crête

On utilise les sonomètres qui ont une fonction crête pour mesurer les niveaux de pression sonore produits par des bruits impulsifs. En plus des critères généraux exposés en 4.1.1.1, les critères particuliers suivants s'appliquent à cette catégorie d'appareils.

Descente de la retenue
Si la valeur retenue n'est pas conservée sur un affichage numérique, la vitesse de descente de l'aiguille ne doit pas être supérieure à quelques dixièmes de décibel par seconde.

Facteur de crête
Ce facteur doit être le plus élevé possible. Plus il est grand, moins on risque de perdre de l'information.

Gamme dynamique
La limite supérieure doit être au minimum de 140 dB linéaires. Il serait très utile de pouvoir mesurer jusqu'aux environs de 150 dB, afin de laisser une marge à la précision de la limite supérieure.

Pondération
Le sonomètre doit avoir, en plus de la pondération "A", une pondération linéaire afin de respecter le Règlement.

Retenue
Le sonomètre doit avoir un circuit retenant sur l'affichage la valeur du niveau sonore des bruits impulsifs.

Temps de montée

Le temps de montée à pleine déflection de l'aiguille doit être au maximum de 100 microsecondes. (Pour certains sonomètres, le temps de montée peut être réduit à 50 µs et même, dans certains cas, à 20 µs.)

Type

Pour la mesure des impacts, il est préférable d'utiliser un instrument de type I ou de type II de bonne qualité.

4.1.1.3 Sonomètre avec fonction d'intégration (L_{eq})

Ces sonomètres calculent le niveau équivalent de bruit reçu en un point donné. Le résultat est souvent donné directement en décibels.

Chronomètre

Il est très utile pour connaître le temps d'intégration. Dans certains cas, il est possible de prédéterminer celui-ci.

Bruits impulsifs

Ce sonomètre devrait pouvoir intégrer les bruits impulsifs afin que l'on connaisse le niveau réel.

Niveau sonore équivalent

Selon le Règlement, le niveau équivalent est calculé à l'aide d'un facteur de bissection de 5 dB (O.S.H.A.). Malheureusement, il n'existe presque pas de sonomètres représentant ce critère de l'O.S.H.A.

Période d'intégration

Elle devrait être au minimum de l'ordre d'un quart de travail. (Pour certains sonomètres, elle peut monter à plus de 20 heures.)

4.1.1.4 Sonomètre avec filtre

Ces sonomètres servent pour l'analyse en bandes de fréquence, surtout afin de détecter les tons purs. En plus des critères généraux exposés à la section 4.1.1.1, les critères particuliers suivants s'appliquent à ce type de sonomètres.

Affaiblissement
L'affaiblissement à l'extérieur des bandes de fréquence doit respecter la tolérance stipulée dans les normes.

Automatique
Certains filtres commutent automatiquement les bandes de fréquence. Ils sont surtout utilisés pour les enregistrements.

Branchements
Les impédances des branchements entre le filtre et le sonomètre doivent être compatibles afin d'éviter la distorsion du signal. Les branchements doivent être solides pour ne pas produire de bruit par friction.

Norme
Consulter les normes régissant la construction des filtres (voir en annexe).

Bandes d'octave
Le filtre doit être, de préférence, à bande d'octave. Le filtre à tiers d'octave convient surtout pour les mesures effectuées dans le cadre d'un projet d'isolation ou d'insonorisation.

Types de filtres
Il y a deux types principaux de filtres à considérer selon les besoins:

1) Filtres inclus dans le sonomètre lui-même, généralement à bande d'octave.

2) Filtres modulaires se fixant au sonomètre.

4.1.2 Discussion sur les sonomètres

Le sonomètre est le principal instrument dont on se sert pour mesurer le bruit. Puisqu'il s'agit d'un appareil électronique, il deviendrait fastidieux de produire des instruments ayant chacun une seule fonction. De fait, grâce à la miniaturisation des circuits, il est possible d'introduire plusieurs fonctions dans un même boîtier.

Il est donc rare qu'on trouve des sonomètres ayant seulement une fonction spécialisée. La seule exception est celle des sonomètres dBA d'usage général, lesquels, comme leur nom l'indique, ne mesurent que des niveaux de pression sonore en pondération "A". Dans les autres cas, l'appareil mesure en pondération "A" pour le bruit continu et possède, au minimum, une autre fonction spécialisée. Donc, si on a uniquement besoin d'un appareil pour la mesure d'un bruit continu, il est préférable de limiter son choix aux sonomètres à pondération "A". Dans un tel cas, il y a peu de critères à considérer, mais les instruments disponibles sont nombreux. Par contre, si, après considération des besoins, on estime nécessaire d'avoir d'autres fonctions, le nombre d'instruments disponibles diminue, et inversement, les critères deviennent plus nombreux. Dans ce dernier cas, le secret d'un choix avisé réside dans une bonne évaluation de l'importance de chacun des critères en fonction des besoins. Ainsi, un sonomètre utilisé pour faire simplement de la surveillance préventive devra être beaucoup plus maniable qu'un instrument servant généralement à faire de l'étude à poste fixe. De même, en industrie lourde, la robustesse devient un critère primordial; dans l'industrie pétro-chimique, ce sont les approbations qui deviennent le critère le plus important.

La capacité de retenue d'une valeur est également un élément important à considérer dans le cas d'un sonomètre pour bruits impulsifs à simple affichage galvanométrique, il faut tenir compte de la vitesse de descente de l'aiguille lors de la retenue. Par ailleurs, si le sonomètre possède aussi un affichage numérique qui "gèle" la valeur crête du bruit impulsif, la vitesse de descente de l'aiguille devient secondaire.

Comme nous l'avons déjà vu, un même instrument peut avoir plusieurs fonctions et l'importance relative des critères peut varier selon les besoins. Dans cette perspective, ces instruments de mesure du bruit possèdent une autre caractéristique intéressante. Certaines compagnies produisent des sonomètres dBA sur lesquels, selon les besoins, divers modules peuvent être montés. Ces modules correspondent à une fonction bien définie. Ainsi, on peut mesurer les bruits impulsifs en ajoutant au sonomètre dBA un module ayant une fonction "Peak" pour ces types de bruit; ou encore, on peut calculer le niveau équivalent du bruit à l'aide d'un module à L_{eq}; ou, enfin, on peut faire de l'analyse en bande de fréquence au moyen d'un filtre modulaire. À l'opposé, certains sonomètres possèdent plusieurs fonctions, sinon toutes, à l'intérieur du même boîtier. Ces renseignements montrent à quel point les sonomètres peuvent être polyvalents. Si on effectue un peu de recherches, on peut donc en arriver à trouver un instrument s'adaptant bien à presque tous les besoins.

Avant de continuer, rappelons brièvement les fonctions disponibles sur les sonomètres. Plusieurs instruments disposent simultanément des fonctions "Peak" et "Impulse". La fonction "Peak" est celle qu'on utilise au Québec pour mesurer les bruits impulsifs. La fonction "Impulse", malgré l'analogie du terme avec le mot "impulsif", n'est pas citée dans le Règlement; par conséquent, l'usage de cette fonction pour l'évaluation des bruits d'impact n'est pas valide dans le cadre d'une étude de conformité. Il faut donc

prendre garde de ne pas dépenser des sommes supplémentaires pour des fonctions qui se révéleront inutiles par la suite. Cette remarque est particulièrement pertinente dans le cas des sonomètres monopièces.

Enfin, il existe des instruments spéciaux qui ne se trouvent souvent que chez un seul fabricant. Par exemple, l'un d'eux est actuellement à mettre au point une unité de mémoire qui peut être reliée à l'un de ses sonomètres, et qui enregistre les valeurs mesurées. Les données sont ensuite acheminées vers une unité de calcul où elles sont traitées mathématiquement. Une autre compagnie produit un instrument pouvant servir à la fois de sonomètre dBA et de dosimètre. Cet appareil représente une solution de compromis et peut répondre à plusieurs besoins.

Pour clore cet examen des instruments spéciaux, mentionnons qu'il existe un petit instrument très intéressant à considérer. Il s'agit d'un sonomètre doublé d'un analyseur en bande de fréquence. Son élément le plus intéressant est la présentation complète et immédiate du spectre sonore sur un affichage à diode.

Comme on peut le constater, le marché des sonomètres se caractérise par une grande polyvalence. Lorsqu'on a des besoins généraux, un simple appel d'offres peut suffire pour obtenir un choix valable. Dans le cas où le problème est plus spécifique, il est préférable de consulter personnellement les fabricants distributeurs. Connaissant leur matériel, ceux-ci sont aptes à aider l'éventuel acheteur.

4.2 Dosimètres

Comme son nom l'indique, le dosimètre sert à mesurer la "dose" de bruit, soit le niveau d'exposition du travailleur au bruit. Plus

précisément, cet instrument perçoit le bruit de façon identique au sonomètre, mais dispose d'une unité supplémentaire qui sert au calcul du niveau équivalent L_{eq}. Comme le sonomètre, il répond aussi à des normes, très souvent les mêmes. Évidemment, la norme prévue au départ pour les sonomètres ne s'applique pas intégralement aux dosimètres: seuls certains éléments sont pertinents, par exemple la performance des circuits électroniques.

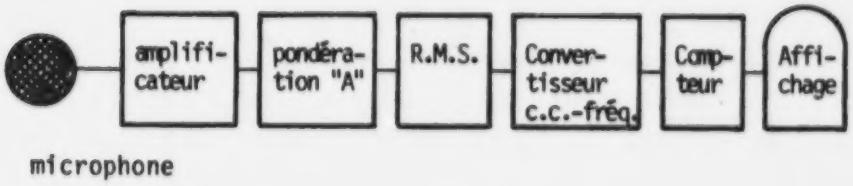
Presque tous les dosimètres sont de type II, c'est-à-dire qu'ils doivent avoir la même qualité de rendement que les sonomètres de ce type. Il y a quelques dosimètres de type I sur le marché, mais leur implantation n'a pas encore d'implications légales. Par contre, l'intérêt de ces instruments pour une personne désirant effectuer des mesures dosimétriques plus précises est évident. Il faut cependant faire attention: ce n'est pas uniquement du type de l'instrument que dépend la qualité de l'échantillonnage. Les autres éléments influençant cette qualité peuvent être très divers: position du microphone, limite d'intégration supérieure, mode d'échantillonnage, aptitude de l'instrument à intégrer les bruits impulsifs, etc.

Malgré sa ressemblance apparente avec le sonomètre, le dosimètre a une fonction très différente dans la quantification de l'exposition du travailleur. Il permet d'évaluer la dose de bruit auquel un travailleur est exposé durant un quart de travail complet. À cette fin, ses dimensions ont été réduites jusqu'à celles d'un instrument pouvant être placé dans une poche de vêtement. Puisque le dosimètre suit le travailleur partout, il peut mesurer le bruit réellement perçu par le travailleur durant la journée.

Le fonctionnement de cet instrument est analogue, de bien des manières, à celui du sonomètre. Le bruit est perçu par le microphone. Celui-ci émet un signal électrique équivalant aux caractéristiques (fréquence et intensité) de l'onde de pression. Ce

signal est amplifié, puis acheminé vers un réseau de pondération "A". Ce dernier modifie le signal de façon à l'amener le plus près possible de la réponse de l'oreille humaine. Puis vient une unité R.M.S. qui permet de calculer la valeur du signal électrique pondéré. Le bloc suivant convertit le signal continu qui sort de l'unité R.M.S. en un train d'impulsions. Plus le niveau de pression sonore est élevé, plus les impulsions sont nombreuses. Elles sont comptabilisées par un compteur et le résultat est transmis à l'affichage, soit sur demande, soit automatiquement.

Illustration 19. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN DOSIMÈTRE



Le résultat est généralement donné en pourcentages: si l'on désire connaître l'équivalent en décibels, il faut consulter une table.

4.2.1 Critères de sélection des dosimètres

Tous les critères qui suivent se rapportent au dosimètre en général. Puisque cet instrument est destiné à échantillonner principalement le bruit continu, il n'est pas utile de diviser les critères

en catégories comme nous l'avons fait pour les sonomètres. En effet, les fonctions spécialisées des dosimètres sont trop peu nombreuses pour qu'on s'y attarde longuement; nous les mentionnerons au fur et à mesure dans les critères généraux.

Alimentation
Elle doit être à piles rechargeables.

Autonomie
Elle doit correspondre, au minimum, au quart de travail du travailleur portant l'appareil (tenir compte du temps nécessaire pour l'étalonnage, les ajustements et la recharge).

Chronomètre
Il est utile pour connaître le temps d'échantillonnage.

Commandes
Elles doivent être, de préférence, hors d'atteinte du porteur afin que ce dernier ne puisse modifier le fonctionnement de l'instrument et, dans certains cas, afin d'assurer la confidentialité des données (interdiction d'accès à l'affichage).

Constante de temps normalisée
Le dosimètre doit être muni, au moins, de la constante de temps "lente".

Construction
Il faut évaluer l'instrument selon sa légèreté, ses dimensions, sa maniabilité, sa robustesse et la possibilité de le faire réparer facilement, et ce, en fonction de l'usage qu'on désire en faire.

Contraintes environnementales
S'assurer que l'instrument peut fonctionner normalement dans l'environnement où l'on envisage de l'utiliser.

Coût

Bien définir le rapport coût/rendement en fonction des besoins tout en n'oubliant pas de considérer le coût des accessoires et des stages de formation s'il y a lieu.

Délai de livraison

À vérifier auprès du vendeur et à préciser dans le contrat, car il peut varier énormément.

Dépassement de limites

Il devrait y avoir un indicateur avertissant qu'il y a eu dépassement de la limite d'exposition de 115 dBA. Un indicateur pouvant noter la présence de bruits impulsifs peut aussi être très utile.

Détecteur

Il doit être de type quadratique ("RMS").

Entretien

S'assurer que l'instrument exige un minimum d'entretien. S'enquérir des pièces à changer régulièrement, ainsi que de leur disponibilité.

Étalonnage

Le dosimètre doit avoir un mode "calibrage". L'étalonnage doit pouvoir se faire simplement et rapidement.

Facteur de bissection

Il doit être de 5 dB (selon l'O.S.H.A.).

Gamme de fréquences

Choisir la plus large (elle peut aller jusqu'à 10 kHz).

Gamme dynamique

Elle doit être la plus large possible (plus élevée que 115 dBA, surtout dans les milieux où il y a beaucoup de bruits impulsifs).

Garantie
En vérifier les modalités et les limites.

Intégrité des données
Discuter des moyens utilisés pour éviter que les données ne puissent être faussées.

Impulsions
Il est très utile, pour l'évaluation du milieu, de disposer d'un dosimètre pouvant détecter les bruits impulsifs et en indiquer la présence.

Limite d'intégration
La limite supérieure doit être élevée pour pouvoir refléter la dose réelle (il est préférable qu'elle englobe les bruits impulsifs). La limite inférieure doit être de 85 dBA pour un quart de travail de 8 heures. Dans le cas des quarts de travail plus longs, il serait opportun de consulter un spécialiste afin que les caractéristiques technologiques de l'instrument ne nuisent pas à l'obtention des résultats attendus.

Linéarité
Il faut s'assurer que la réponse du dosimètre demeure en tout temps à l'intérieur des limites de la tolérance établie dans les normes qui s'appliquent à l'instrument.

Module de programmation
S'assurer qu'on pourra modifier les paramètres de calcul pour s'adapter à d'éventuels changements législatifs (limites d'intégration, facteur de bissection, etc.).

Norme
Les dosimètres doivent satisfaire aux mêmes normes que les sonomètres de type I ou de type II, selon le cas. (Voir en annexe.)

Pondération

La pondération "A" est obligatoire pour le calcul de la dose de bruit. S'il y a un détecteur de bruits impulsifs il doit être, de préférence, linéaire.

Position d'attente

Utile pour interrompre temporairement une mesure.

Précision

S'informer sur la précision de l'instrument pour des seuils significatifs au regard de la Loi (ex.: 85 dBA, 90 dBA, 115 dBA).

Référence

Si possible, consulter des utilisateurs de l'instrument envisagé, ainsi que des rapports d'évaluation.

Service après vente

En évaluer l'importance, en quantité et en qualité. Vérifier, selon l'importance de l'achat, si le vendeur offre un cours de formation.

Sorties

Vérifier si elles sont appropriées en vue, au besoin, de l'échantillonnage intégré (sur enregistreur).

Temps de montée

La constante de temps "lente" doit être de l'ordre de la seconde; la constante de temps "rapide" doit être, elle, de l'ordre de 125 millisecondes, alors que la détection des bruits impulsifs avec crête nécessite un temps de montée de moins de 100 microsecondes. Seule la constante de temps "lente" est actuellement obligatoire en vertu de la réglementation.

Unité utilisée pour l'affichage
Discuter du mode de présentation des résultats (en pourcentages ou directement en décibels).

Unité de lecture
Il est bon de s'interroger sur l'intérêt d'avoir une unité de lecture séparée, en fonction du nombre de dosimètres désiré.

4.2.2 Discussion sur les dosimètres

En dosimétrie, les deux critères suivants comptent parmi les plus importants: le facteur de bissection et les limites d'intégration. En ce qui a trait à la limite supérieure d'intégration, il faut porter une attention toute particulière aux frontières d'intégration véritables. Il existe des dosimètres pouvant considérer les niveaux sonores jusqu'aux environs de 130 dBA, mais qui intègrent jusqu'à 115 dBA seulement. Tous les niveaux supérieurs à cette limite de 115 dBA sont alors considérés comme étant de 115 dBA, et intégrés comme tels. Il s'ensuit que ces instruments entravent sérieusement la validité des calculs de la dose. Il importe donc de trouver un dosimètre ayant une limite d'intégration supérieure élevée, surtout si le milieu de travail comporte des niveaux de bruit élevés. S'il y a des bruits impulsifs dans le milieu de travail, il est très utile que le dosimètre puisse les détecter et en indiquer la présence.

Les unités de lecture sont un autre élément important à considérer en dosimétrie. Si les besoins consistent à surveiller un poste de travail de temps à autre, il est préférable de choisir un dosimètre autonome et compact, qui se suffit à lui-même. Par contre, s'il doit y avoir une surveillance systématique et simultanée de plusieurs postes, il devient intéressant de considérer les dosimètres à unité de lecture séparée (le dosimètre doit être relié à cette

unité pour qu'on puisse lire la valeur enregistrée). Le prix de cette unité est amorti par l'économie faite sur les dosimètres, ces derniers étant plus simples puisqu'ils ne comportent pas d'affichage.

Lors du choix du dosimètre, il faut aussi se renseigner sur les modules de calcul ou de programmation. Actuellement, le Règlement fixe la limite de la dose à 90 dBA pour 8 heures avec un facteur de bissection de 5 dB. Cela correspond à une valeur de 100% sur l'affichage. Mais, advenant que la réglementation vienne à changer, il faudrait éviter de se retrouver avec des instruments inutiles, puisque non conformes aux nouvelles normes. Il faut donc s'assurer que le fabricant est en mesure d'effectuer les modifications qui rendront de nouveau l'instrument opérationnel.

Il y a une autre mise en garde à faire au sujet des dosimètres. Certains utilisateurs désirent que les résultats demeurent confidentiels et cherchent un instrument muni d'un système de fermeture efficace. Souvent, ces dispositifs sont fragiles à cause même de leur complexité.

Enfin, certains modèles de dosimètres sont polyvalents. Ces appareils seront surtout intéressants pour l'hygiéniste qui, disposant d'un budget restreint, ne désire pas nécessairement de l'équipement très perfectionné. Une compagnie fabrique actuellement un instrument dont la fonction principale est celle du dosimètre, mais qu'il est possible d'utiliser comme sonomètre dBA de type II. Un autre type de dosimètre enregistre en mémoire les niveaux sonores perçus durant le fonctionnement. Les données sont ensuite acheminées par une unité de traitement et imprimées sur papier. Cet appareil permet d'obtenir un historique sonore de la journée.

Dans le cas des dosimètres, le choix n'est évidemment pas aussi vaste que dans celui des sonomètres, parce que les dosimètres ont

, une fonction unique bien précise. Il n'en reste pas moins qu'ils sont importants et qu'il faut prendre certaines précautions lors de leur sélection.

4.3 Microphones

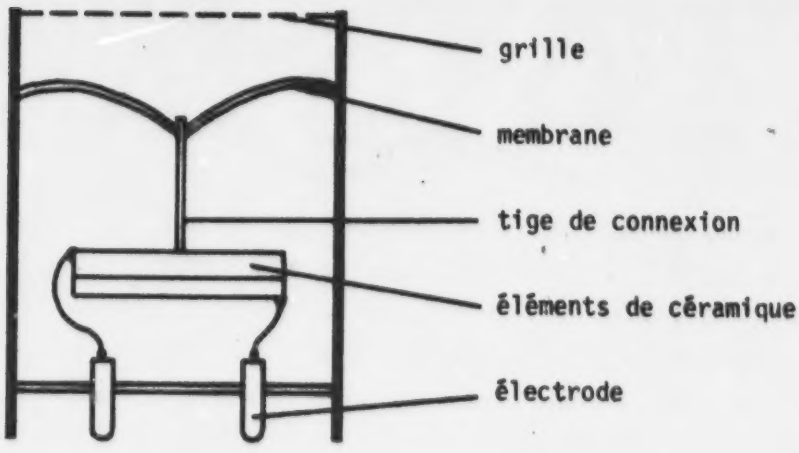
Le microphone n'est pas à proprement parler un instrument de mesure, mais, à cause de certaines de ses caractéristiques, il convient de s'y attarder un peu plus en détail. Il est souvent possible de remplacer le microphone d'un instrument de mesure et, de ce fait, de changer certaines caractéristiques des mesures. L'exposé qui suit n'est pas exhaustif, mais devrait suffire à celui qui désire faire un bon choix.

Il y a trois types principaux de microphones: à céramique, à condensateur et à électret. Leur fonctionnement, quoique très similaire, comporte de petites différences, suffisantes pour modifier le rendement escompté.

Le microphone à céramique utilise l'effet piézoélectrique de certains matériaux pour produire ses signaux électriques. Lorsque l'onde sonore frappe la membrane du microphone, cette dernière transmet les mouvements induits à une tige de connexion. Cette tige de connexion transmet à son tour ces mouvements à des éléments de céramique. La pression qui s'exerce sur ces éléments engendre des signaux électriques, lesquels sont alors dirigés vers l'instrument. On trouvera à l'illustration 20 le schéma de ce type de microphone.

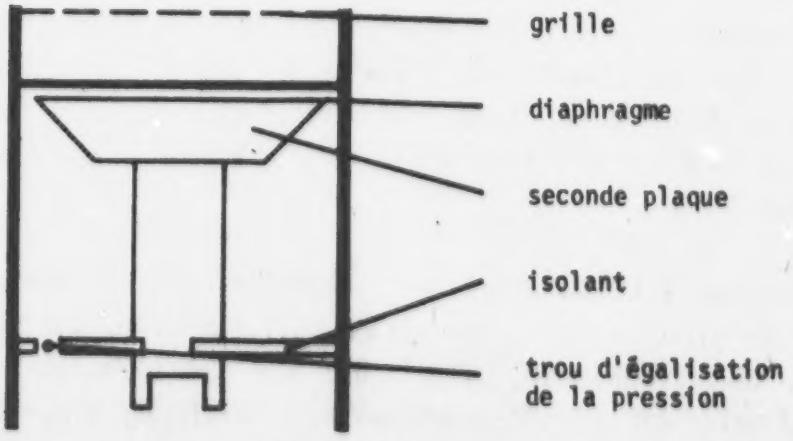
Le microphone à condensateur (ou condensateur à air) fonctionne suivant le principe d'une capacitance. Il est constitué de deux plaques très rapprochées, dont l'une est le diaphragme (voir l'illustration 21). Ces deux plaques sont maintenues à une différence de potentiel constante. Lorsque l'onde sonore frappe le

Illustration 20. MICROPHONE À CÉRAMIQUE



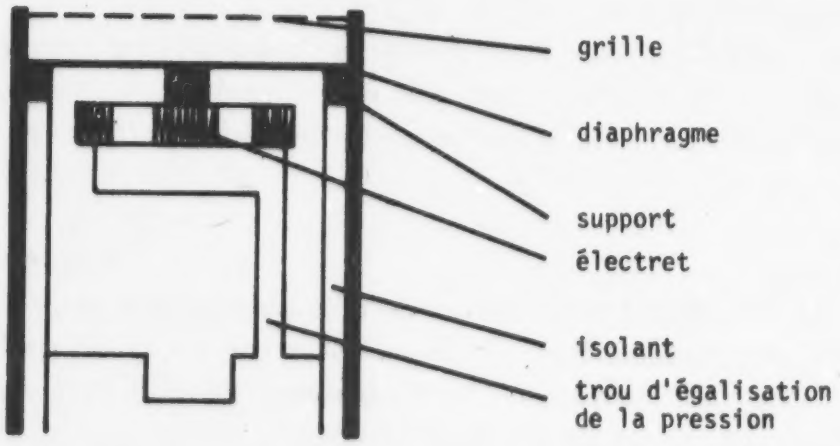
diaphragme, elle y exerce une pression, créant ainsi des déformations. Ces déformations amènent des variations dans la différence de potentiel. Ce sont ces variations qui sont détectées par l'instrument de mesure.

Illustration 21. MICROPHONE À CONDENSATEUR



Le microphone à électret fonctionne de la même façon que le microphone à condensateur, sauf que la différence de potentiel est installée en permanence dans certains matériaux diélectriques du microphone. Ces matériaux diélectriques, ou électrets, sont analogues à un aimant permanent. Cela permet une réduction très appréciable du volume du sonomètre, puisque l'appareil n'a plus à contenir la charge électrique nécessaire au fonctionnement du microphone à condensateur conventionnel. On trouvera à l'illustration 22 le schéma d'un tel microphone.

Illustration 22. MICROPHONE À ÉLECTRET



Bien sûr, le signal électrique qu'émet le microphone n'est pas suffisamment puissant pour subir immédiatement un traitement. Il faut donc qu'il soit d'abord amplifié. Pour cela, il faut qu'un préamplificateur adapte la forte impédance du microphone à l'entrée de l'instrument. À cause de son rôle d'interface entre le microphone et l'instrument, le préamplificateur doit être considéré en même temps que le microphone.

4.3.1 Critères de sélection des microphones

Les critères qui suivent portent sur la sélection de tous les microphones, peu importe leur type. Un tableau vient compléter les renseignements donnés ci-dessous.

Alimentation

Les trois types de microphones nécessitent une alimentation différente (différence de potentiel). Une fois le microphone choisi, il est à toutes fins utiles inapproprié de le remplacer par un microphone d'un autre type. Il faut donc s'assurer que le type choisi convient aux besoins.

Atmosphère corrosive

Si un microphone doit fonctionner durant une longue période dans un environnement corrosif, il faut que ses éléments constituants soient résistants à la corrosion (ex.: teflon, mylar, nickel, or, etc.).

Bruit de fond

Le bruit de fond doit être inférieur de 5 dB au signal à mesurer. Il faut de plus rechercher un microphone ayant une valeur de capacitance élevée et un voltage de sortie également élevé. Le bruit de fond est produit lors de la préamplification.

Capacitance

Plus la capacitance est élevée, plus le rapport signal/bruit sera élevé. C'est donc une des caractéristiques à rechercher.

Contraintes environnementales

Il faut s'assurer que le microphone peut fonctionner normalement dans l'environnement où l'on envisage de l'utiliser (voir ces contraintes dans les critères suivants).

Diamètre

Plus le diamètre d'un microphone est grand, plus il est sensible, mais plus sa gamme dynamique est basse. Si l'on mesure de faibles niveaux de pression sonore, il est préférable d'utiliser un microphone d'un pouce ou d'un demi-pouce de diamètre. Dans le cas des bruits impulsifs, il est bon d'utiliser des microphones d'un demi-pouce ou d'un quart de pouce de diamètre.

Dimension physique

Puisque l'étalonnage doit être le plus précis possible, il faut que le microphone s'ajuste exactement dans l'enceinte d'étalonnage, sans qu'il y ait de jeu.

Distorsion

La distorsion est causée par l'ensemble microphonique (microphone et préamplificateur). Elle doit être la plus faible possible, tant pour les niveaux de pression sonore élevés que pour les basses fréquences.

Entretien

Le microphone doit exiger un minimum d'entretien. On doit aussi pouvoir le retirer facilement de l'instrument, sans quoi il faudra retourner l'appareil au complet si le microphone se brise.

Étalonnage

L'étalonnage doit être simple et précis. L'information fournie par le fabricant à ce sujet doit comprendre la courbe d'étalonnage (champ libre, diffus et à pression), ainsi que les corrections à apporter lorsque l'on effectue les mesures dans un type de champ non prévu.

Fréquence de résonnance

La fréquence de résonnance des microphones peut se situer à l'intérieur de la gamme de fréquences des mesures. Il faut alors

s'assurer que le fabricant a pris les dispositions nécessaires pour éviter une surévaluation du niveau sonore.

Gamme de fréquences

Elle doit être la plus large possible, dépassant un peu celle prévue pour l'instrument principal (ex.: 16 kHz pour le sonomètre). Les microphones de petit diamètre ont une plus large gamme de fréquences que ceux qui ont un grand diamètre.

Gamme dynamique

Elle doit être la plus large possible. On considère que la limite supérieure se situe au seuil où la distorsion atteint 3%. Les limites de la gamme doivent déborder celles de l'instrument principal (ex.: de 25 dBA à 140 dBA pour le sonomètre).

Garantie

Puisque le microphone est une composante fragile, il est très important de connaître les modalités et les limites de la garantie.

Humidité

Si un microphone demeure longtemps dans un milieu très humide, sa sensibilité peut changer lentement. Il faut donc connaître la plage d'humidité relative dans laquelle doit fonctionner le microphone.

Milieu à atmosphère inflammable

Si un microphone demande une trop grande tension de polarisation (différence de potentiel), il risque de produire des étincelles dans un environnement inflammable.

Réponse directionnelle

Un microphone peut avoir trois réponses directionnelles différentes: parallèle au diaphragme (à pression), perpendiculaire au

diaphragme (à champ libre), et finalement à champ diffus. Le microphone à pression est idéal pour mesurer le bruit des véhicules en mouvement. Il est aussi utilisé dans les champs diffus, tout comme le microphone à champ diffus. Le microphone à champ libre est préférable dans un environnement sans réverbération.

Réponse en fréquence

Sur la fiche d'étalonnage, la réponse du microphone doit être la plus linéaire possible sur toute sa gamme. La fiche doit également indiquer la tolérance de cette courbe, ainsi que l'angle d'incidence de l'onde sonore.

Sensibilité

Selon le diamètre du microphone, la sensibilité varie significativement. Elle oscille aux environs de 50 mV/Pa (millivolts par pascal) pour un diamètre d'un pouce, d'une dizaine de mV/Pa pour un diamètre d'un demi-pouce et de quelques mV/Pa pour un diamètre d'un quart de pouce.

Stabilité à long terme

Cette donnée fournit des indications sur la période de temps durant laquelle le microphone peut fonctionner en respectant ses performances dans des conditions données. Si l'instrument doit être utilisé dans des conditions particulières, il faut se renseigner au sujet de la stabilité possible.

Température

Le fabricant doit indiquer la plage de température à l'intérieur de laquelle le microphone fonctionne normalement.
Lorsqu'on passe d'une température extrême à une autre, le microphone peut nécessiter quelques dizaines de minutes pour revenir à un état de fonctionnement normal.

Type
Vérifier si la précision du microphone correspond au type d'instrument utilisé (ex.: type I, type II).

Vibrations
Il faut connaître la gamme des vibrations à l'intérieur de laquelle l'instrument n'est pas influencé. Si les vibrations se font perpendiculairement au diaphragme, les interférences peuvent être très élevées.

Voltage de sortie
Plus le voltage de sortie du microphone est élevé, moins le signal nécessite d'amplification, et moins la distorsion est grande dans les bas niveaux de pression sonore.

4.3.2 Discussion sur les microphones

Dans le contexte de la sélection des instruments de mesure, les microphones constituent un cas particulier, car il s'agit de composantes d'instruments, et non pas d'appareils à proprement parler. Les microphones sont même d'un fonctionnement simple en regard de la description du début de cette section.

Nous commencerons d'abord par examiner les types de microphones et les critères les plus importants à considérer en fonction de l'utilisation prévue. Nous examinerons trois types principaux d'application (nous ne traiterons pas des utilisations en laboratoire). Il s'agit de l'utilisation dans des conditions difficiles, des utilisations générales et des tâches de précision.

Par usage dans des conditions difficiles ou en milieu hostile, on entend surtout les cas où le microphone est placé en poste fixe à

l'extérieur ou est utilisé dans une atmosphère dangereuse. Les critères qui ont le plus d'importance dans de tels cas sont l'impédance (si le microphone est relié à l'instrument de mesure par un câble) et les contraintes environnementales (telles que l'humidité et les produits corrosifs). Un microphone appelé à fonctionner dans des conditions difficiles de cette nature devra selon toute vraisemblance être changé régulièrement. Si tel est le cas, le coût en devient le critère principal. Il est conseillé d'avoir recours au microphone à céramique ou à électret dans des contextes de ce genre.

Si le microphone doit servir à effectuer des mesures très générales, c'est ici encore son prix qui est l'élément le plus important. En effet, l'instrument de mesure sera principalement manipulé par des non-spécialistes, lesquels pourraient soumettre le microphone à des conditions non sécuritaires.

Ce mode d'utilisation peut engendrer des bris fréquents. D'autre part, l'instrument servant à ce type de mesures est souvent de qualité moyenne, et il est inutile de payer le prix fort pour un microphone dont on ne pourra pas exploiter les possibilités au maximum. D'autres critères sont également importants dans le cas des utilisations générales, notamment les contraintes environnementales, la réponse en fréquence et la réponse directionnelle. Si le milieu de travail comporte des bruits impulsifs, il faut également considérer la gamme dynamique. Les microphones à céramique ou à électret sont les plus appropriés dans de telles conditions.

Par ailleurs, si l'on doit effectuer des mesures de précision, ce sont les critères de performance qui deviennent les plus importants, soit la sensibilité, la réponse en fréquence, la réponse directionnelle, la gamme dynamique, la stabilité et la réponse en basse fréquence. Les conditions environnementales demeurent importantes, mais c'est la performance de l'appareil qui est

déterminante, compte tenu du fait que les mesures seront prises par une personne expérimentée et compétente.

Le tableau 5 résume les critères à considérer selon l'usage qu'on fera du microphone.

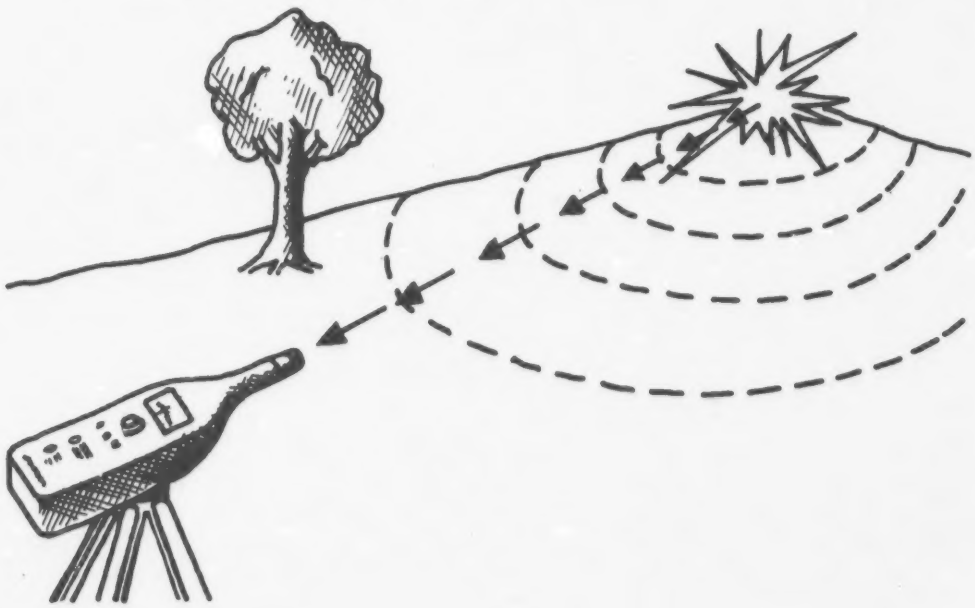
Tableau 5. IMPORTANCE DES CRITÈRES SELON L'USAGE PRÉVU DU MICROPHONE

	Milieu hostile	Usages généraux	Mesures de précision
Gamme dynamique	++	++	+++
Impédance	+++	++	++
Réponse en basse fréquence	+ ++	+ ++	++ +++
Réponse en fréquence	++	++	+++
Sensibilité	+	+	++
Stabilité	+	+	++
Humidité	+++	++	++
Produits corrosifs	+++	++	++
Température	++	++	++
Vibrations	++	++	++
Prix	+++	+++	++

Parmi les critères non encore examinés, il y en a un à considérer sérieusement: c'est la réponse directionnelle du microphone. En effet, celui-ci, selon son mode d'étalonnage, répondra différemment au bruit en fonction de l'angle d'incidence. Pour bien comprendre les conséquences de cet état de choses, il faut d'abord avoir des notions sur le mode de propagation du son dans l'air.

Si un bruit se produit à l'extérieur, il se propage de façon radiale (comme une onde à la surface de l'eau). S'il n'y a aucun obstacle, le bruit donnera l'impression de provenir d'un seul point.

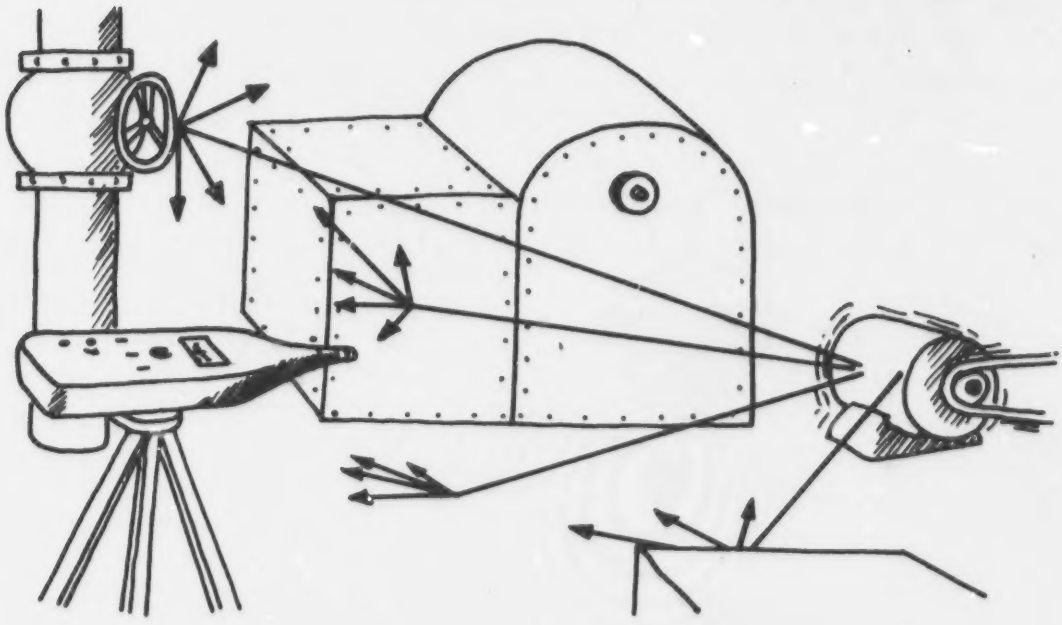
Illustration 23. CHAMP LIBRE



Par contre, si l'on effectue des mesures dans un endroit fermé, le bruit semblera provenir de plusieurs points. Cette impression est attribuable à la réflexion des ondes sonores sur les murs, le plafond et les autres obstacles. Chacun de ces obstacles devient à son tour une sous-source de la source principale. C'est ce phénomène qui donne naissance à l'écho.

Ces notions sont importantes pour comprendre les diverses applications des modes d'étalonnage des microphones. Il existe trois types de réponse directionnelle: à champ libre, à pression et à champ diffus.

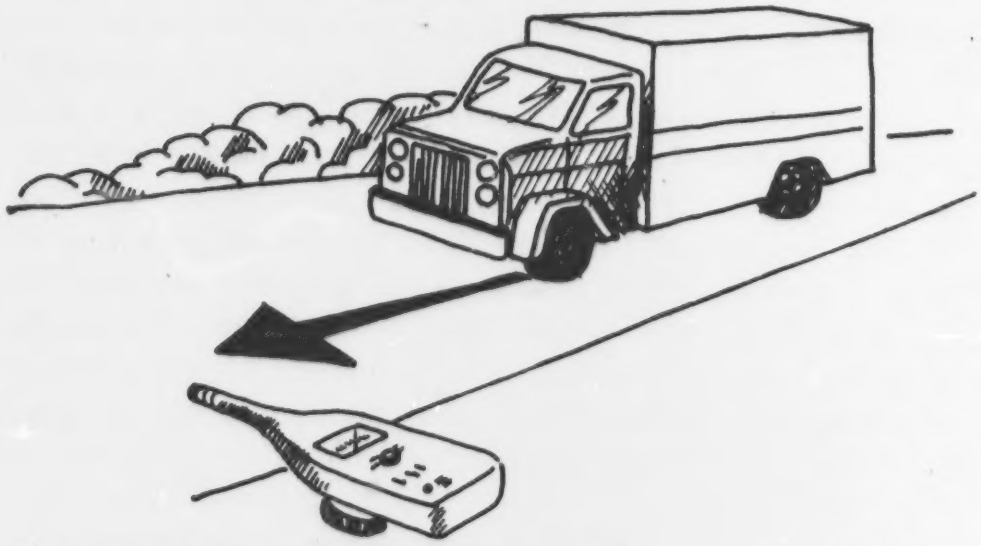
Illustration 24. CHAMP DIFFUS



Le microphone à champ libre est surtout efficace lorsque les mesures se font à l'extérieur ou dans un milieu où il n'y a pas de réflexion. C'est également celui qui est le plus approprié pour mesurer le bruit produit par une seule machine. Le microphone est orienté vers la machine, de façon à capter le niveau sonore exact alors que les bruits provenant d'autres directions sont sous-évalués. Par contre, le microphone à champ libre est fortement handicapé lorsqu'on l'utilise pour évaluer le niveau sonore à un poste de travail dans un environnement réverbérant.

Le microphone à pression est conçu pour mesurer principalement le bruit qui lui parvient de côté. Il donne donc une bonne réponse en présence d'un champ diffus, c'est-à-dire dans un environnement réverbérant. Son application la plus pertinente constitue la mesure du bruit produit par les véhicules en mouvement. En effet, ceux-ci, en s'approchant ou en s'éloignant, émettent un bruit qui frappe le microphone de côté.

Illustration 25. MESURE DE BRUIT DE LA CIRCULATION EN MODE D'ÉTALONNAGE EN PRESSION



Par contre, le microphone à pression ne doit pas être utilisé en champ libre.

Enfin, toujours en fonction de la réponse directionnelle, la troisième catégorie est constituée des microphones à champ aléatoire ou à champ diffus. Comme leur nom l'indique, ce sont les microphones les mieux adaptés aux mesures dans un milieu très réverbérant. Le meilleur exemple qu'on peut donner de ce type de milieu est celui d'un poste de travail dans un environnement bruyant. En prenant certaines précautions, il est même possible d'utiliser un microphone de cette catégorie dans un champ libre; mais cet usage doit demeurer très limité.

Un autre élément intéressant à considérer est la relation entre le diamètre du microphone et sa performance. Si le microphone a un grand diamètre (un pouce), il sera beaucoup plus sensible qu'un microphone plus petit, mais sa gamme dynamique et sa gamme de fréquences seront par contre moins élevées. Cette caractéristique a une grande importance en regard de l'intensité du bruit à mesurer. Ainsi, si les niveaux sonores se situent au-dessous de

120 - 130 dB, un microphone d'un pouce ou d'un demi-pouce sera suffisant, mais si le niveau est supérieur à 130 dB, il faut opter pour un microphone d'un quart de pouce.

Aussi, un dernier rappel sur l'importance des conditions environnementales. Le microphone est la partie la plus sensible de l'instrument de mesure: il faut donc prêter attention aux effets que l'environnement risque d'avoir sur lui. Le meilleur exemple qu'on puisse trouver des effets auxquels faire attention est celui du passage de l'appareil du froid intense à la chaleur. Puisque la déformation des parties du microphone par rapport à cette condition environnementale n'est pas homogène, il faut lui laisser le temps de s'équilibrer avant de s'en servir.

Finalement, il faut savoir qu'il existe divers accessoires s'adaptant au microphone, et qui remplissent des fonctions précises: correcteur d'incidence pour transformer un microphone à champ libre en microphone à champ diffus, dessicateurs pour l'humidité, capots contre la pluie, etc. Le représentant serait bien placé pour décrire les accessoires de ce genre.

Même si elles peuvent paraître complexes, les informations données ici devraient être suffisantes pour permettre de faire un choix avisé. Il importe cependant de se rappeler que dans le cas des microphones, peut-être encore plus que dans celui d'autres instruments, il est essentiel de bien définir le milieu dans lequel l'appareil est destiné à fonctionner.

4.4 Enregistreurs

Il y a plusieurs raisons qui justifient le recours à l'enregistrement pour l'évaluation du milieu sonore. Il peut être difficile

d'évaluer efficacement le milieu à l'aide des instruments conventionnels. On peut vouloir conserver un échantillon de l'environnement sonore sur support solide. L'enregistreur peut également être utile dans les milieux où les risques d'accident sont élevés: dans ce cas, l'utilisateur installe son appareil, le met en marche et gagne un endroit plus sûr pour la durée de l'enregistrement; ainsi, il n'a été exposé que brièvement et dispose d'un échantillon valable. On peut également considérer que ce recours à l'enregistreur permet de réduire l'usure des instruments de mesure, puisque ceux-ci demeurent alors au laboratoire.

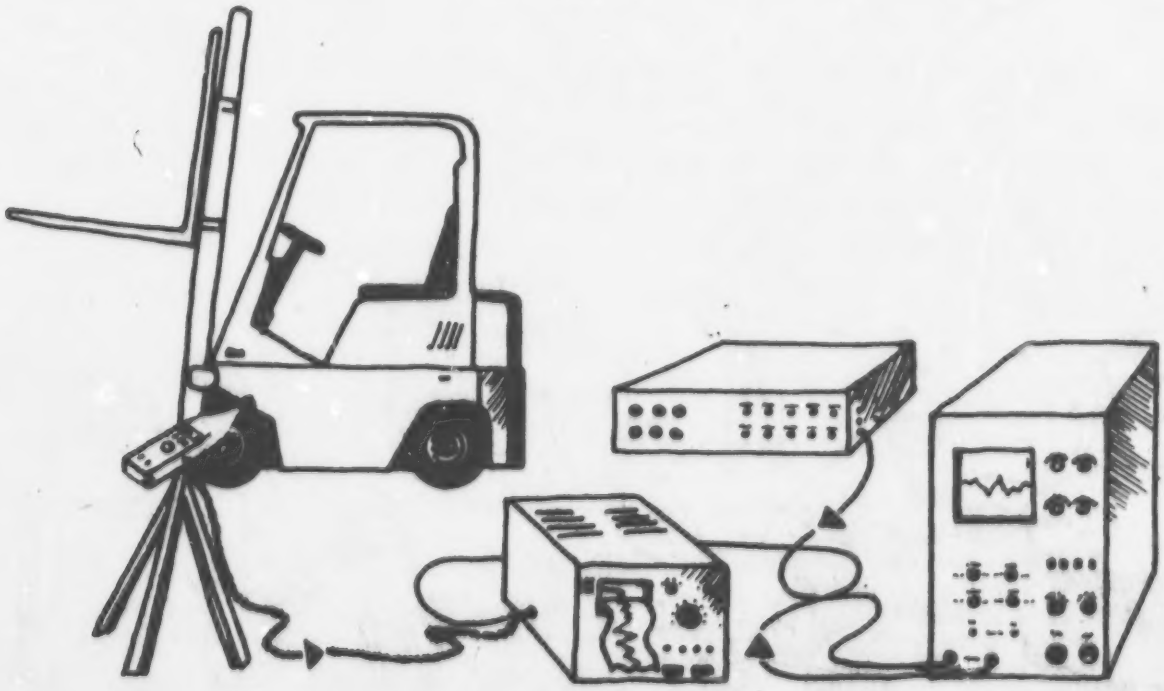
Les enregistreurs magnétiques ont un avantage supplémentaire: il est possible de se servir d'une bande déjà enregistrée afin d'en tirer des informations non prévues au départ. Ainsi, un enregistrement effectué et analysé dans le but de trouver des bandes de fréquence prédominante peut, dans une étude ultérieure, servir à répertorier le nombre d'impulsions sonores du milieu en fonction de leur niveau.

Illustration 26. EXEMPLE D'UTILISATION D'UN ENREGISTREUR MAGNÉTIQUE

Il y a deux types principaux d'enregistreurs. Ils se différencient par leur façon d'enregistrer l'environnement sonore: sur papier pour l'enregistreur graphique, sur bande pour l'enregistreur magnétique. Mais il existe une autre différence encore plus fondamentale entre ces deux types, différence qui se ramène beaucoup plus à une question de stratégie qu'à une question de technologie.

L'enregistreur magnétique sera beaucoup plus utilisé pour recueillir un échantillon sonore en vue d'une analyse ultérieure. Le fait que certains de ces enregistreurs soient à deux pistes les rendent particulièrement aptes à effectuer cette tâche. Lors de l'enregistrement des niveaux de pression sonore sur une première piste, l'utilisateur peut commenter directement les opérations physiques du milieu sur la seconde piste. L'illustration 26 donne un exemple concret d'utilisation de ces enregistreurs.

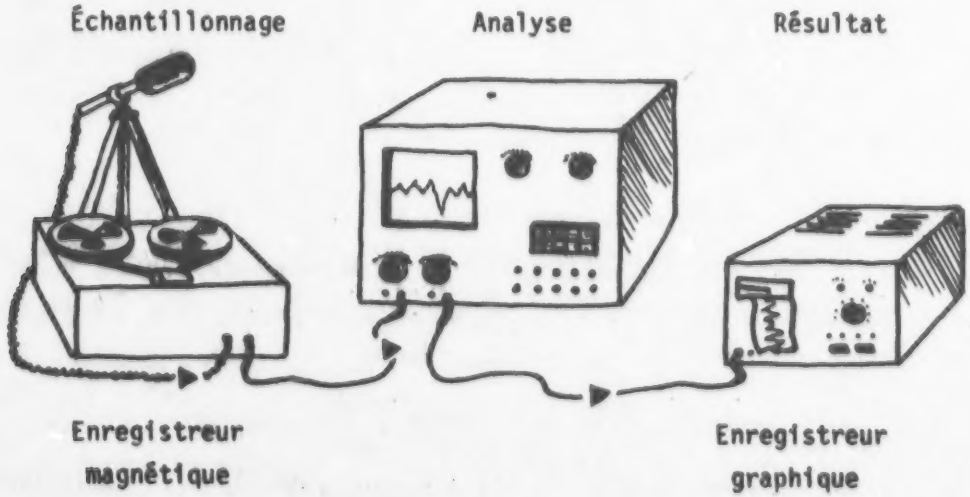
Illustration 27. EXEMPLE D'UTILISATION D'UN ENREGISTREUR GRAPHIQUE



L'enregistreur graphique est plus polyvalent. On peut l'utiliser autant sur le terrain qu'en laboratoire. Il est avantageux de l'utiliser sur le terrain à cause de la rapidité avec laquelle il permet de visualiser le comportement du niveau de pression sonore. En laboratoire, il est beaucoup plus utile pour représenter les résultats des traitements effectués sur les données. Par contre, il est généralement obligatoire de le relier à d'autres instruments pour l'acquisition de données. L'illustration 27 donne un exemple d'utilisation d'un enregistreur graphique.

Donc, en général, on utilise l'enregistreur magnétique pour recueillir de l'information en vue d'une analyse, alors que l'enregistreur graphique sert à visualiser immédiatement la situation, principalement lors de l'analyse elle-même. L'illustration 28 résume assez bien la différence entre les deux types d'instruments.

Illustration 28. EXEMPLE D'UTILISATION DES DEUX TYPES D'ENREGISTREURS



4.4.1 Critères de sélection des enregistreurs

Les critères qui suivent se rapportent aux deux types principaux d'enregistreurs: graphiques et magnétiques. Nous commencerons par examiner les critères communs aux deux types, puis nous verrons les caractéristiques particulières de chacun des deux.

4.4.1.1 Critères généraux

Les critères suivants s'appliquent tant aux enregistreurs magnétiques qu'aux enregistreurs graphiques. On peut aussi avoir recours à certains autres critères généraux énumérés plus tôt pour d'autres types d'instruments, selon leur pertinence.

Adaptabilité au type de bruit
Selon la nature du bruit, il faut parfois modifier l'enregistrement pour rendre la bande passante compatible avec l'amplitude maximale du signal sonore. (Ex.: un environnement comportant beaucoup de bruits impulsifs peut demander un réglage différent de celui que requiert un environnement à bruit continu).

Alimentation
L'alimentation doit être, de préférence, à piles rechargeables. L'instrument doit également pouvoir être alimenté par courant alternatif (c.a.).

Autonomie
Elle doit être évaluée en fonction de la fréquence, de la durée d'utilisation et du temps nécessaire aux ajustements et à l'étalonnage.

Bruit de fond
Ce bruit doit être le plus faible possible pour ne pas chevaucher le bruit enregistré.

Commandes

Elles doivent être faciles d'accès, sans être inutilement exposées.

Distorsion

Elle doit être la plus faible possible.

Entrées

Vérifier la compatibilité des entrées avec le signal désiré (c.a., c.c., amplitude du signal). Il faut tenir compte des impédances et s'assurer qu'il n'y aura pas de réflexion du signal. À cause de la diversité des usages possibles, il serait bon de connaître les différents accessoires et instruments pouvant être installés à l'entrée. Cela peut donner une idée de la polyvalence de l'enregistreur.

Étalonnage

Les enregistreurs doivent être étalonnés et ajustés. La procédure doit être simple et rapide. Si c'est le fabricant qui doit se charger des ajustements, il faut s'assurer qu'il peut le faire rapidement.

Gamme de fréquences

Elle doit être la plus large possible en fonction du signal à enregistrer.

Isolation

Il faut s'assurer que l'instrument est bien isolé afin que son fonctionnement ne soit pas perturbé lors d'un déplacement (pour suivre un travailleur, par exemple).

Légèreté

Si l'on envisage de se déplacer fréquemment avec l'enregistreur, il faut qu'il soit léger.

Résolution
L'enregistreur doit pouvoir coder avec exactitude des signaux se suivant de très près, sans les confondre.

Sensibilité
Il faut que l'instrument puisse capter et reproduire de petites variations dans le signal.

Surcharge
Il faut qu'une protection ait été prévue pour annuler l'effet d'une surcharge, sans quoi l'instrument risque d'être endommagé, ou encore la valeur enregistrée risque d'être faussée.

4.4.1.2 Enregistreur magnétique

Les caractéristiques suivantes se rapportent aux enregistreurs magnétiques. Elles s'ajoutent aux critères généraux exposés en 4.4.1.1.

Autonomie des bobines
Il faut évaluer le temps que peut durer l'enregistrement en fonction de la durée des bobines et de la vitesse de défilement.

Bande en boucle
Il existe certains instruments sur lesquels il est possible d'installer une cassette contenant une bande en boucle infinie, laquelle facilite l'analyse en bande de fréquence. Ce type de bande peut être inutile si l'on dispose d'un analyseur moderne ultra-rapide, à temps réel.

Compression des fréquences

Selon le laboratoire et ses exigences, il serait bon de s'informer de la capacité de l'instrument de compresser et de décompresser les fréquences sur la bande magnétique lors de l'enregistrement et de la reproduction.

Flûtage

Il doit être le plus faible possible. Pour obtenir un faible flûtage, il faut que le système d'entraînement assure une vitesse constante de défilement du ruban magnétique.

Nombre de pistes

Un enregistreur pour le bruit doit avoir plusieurs pistes. Ainsi, en présence de bruit fluctuant, avec de grandes amplitudes, une piste peut servir à l'enregistrement jusqu'à un certain niveau de pression sonore, et la seconde sera adaptée afin d'enregistrer les maximums possibles au-dessus du niveau limite de la première piste.

Position de fonctionnement

Si l'on envisage de suivre un travailleur dans ses déplacements, il faut s'assurer que l'enregistreur peut fonctionner dans toutes les positions (bobines bloquées sur l'instrument).

Réponse en fréquence

Elle doit être la plus linéaire possible entre 45 et 11 200 Hz. Plus la vitesse de défilement est élevée, plus la linéarité de la réponse en fréquence se prolonge dans les hautes fréquences.

Reproduction

L'instrument doit pouvoir reproduire un enregistrement fidèle au signal qui a été codé.

Vitesse de défilement
Obtenir des renseignements bien précis sur les caractéristiques des différentes vitesses. Elles ont des répercussions directes sur la durée des bobines, la gamme dynamique, la bande passante et la réponse en fréquence.

4.4.1.3 Enregistreur graphique

Les critères qui suivent s'appliquent aux enregistreurs graphiques. Ils s'ajoutent aux critères généraux énoncés en 4.4.1.1.

Crête
Afin d'éviter de perdre de l'information lorsqu'un bruit impulsif se produit lors de l'enregistrement, l'instrument doit avoir un facteur de crête élevé (celui-ci peut être de l'ordre de 10 dans le cas de bons enregistreurs).

Gamme de fréquences
Elle peut varier selon le mode d'enregistrement (c.a. ou c.c.). Il faut donc bien prêter attention à cet élément lors du choix de l'instrument.

Mode d'enregistrement
Selon sa conception, l'enregistreur peut présenter différents modes d'enregistrement (c.a. ou c.c.). Si le signal est d'abord capté par un sonomètre ou par un autre instrument similaire, il est nécessaire de vérifier si les sorties de l'instrument de mesure et les entrées de l'enregistreur sont compatibles.

Type de papier
Il faut que l'approvisionnement en papier soit facile. De plus, certains fabricants offrent diverses graduations s'adaptant à divers besoins.

Vitesse
L'utilisateur doit être sûr de bien comprendre les liens existant entre la vitesse du crayon et celle du papier afin, s'il y a lieu, de bien les synchroniser.

4.4.2 Discussion sur les enregistreurs

Les facteurs dont on doit tenir compte lors du choix d'un enregistreur sont en partie différents de ceux qui s'appliquent aux sonomètres et aux dosimètres. Il y a bien sûr des critères communs à tous les instruments de mesure, tels que la gamme dynamique et la gamme de fréquences, mais de nouveaux éléments importants entrent en jeu dans le cas des enregistreurs.

Les entrées sont l'un de ces éléments primordiaux, et particulièrement dans les cas où un autre instrument est relié à l'enregistreur. L'importance de ce facteur est attribuable à la nature même du signal à enregistrer. Celui-ci, tout comme l'onde sonore, a une amplitude. Si l'entrée de l'enregistreur n'est pas en mesure de capter l'information émise, disons, d'un sonomètre, il se produit à la jonction une déformation du signal. Par exemple, si le sonomètre émet une onde électrique avec un voltage de 3 volts (amplitude), et si l'enregistreur ne peut accepter un signal dépassant 2 volts, il y a risque de surcharge des circuits de l'enregistreur. Dans la même veine, il faut s'accorder un temps de réflexion afin de bien déterminer les instruments qui pourraient être installés en périphérie de l'enregistreur. Même s'il est évident au premier abord qu'on installe habituellement à l'entrée un sonomètre, un dosimètre ou un microphone autonome, il ne faut pas oublier les unités de traitement mathématique, qui peuvent parfois être très appropriées pour répondre à certains besoins. Cela est particulièrement vrai dans le cas des enregistreurs graphiques, qui

servent souvent à illustrer les résultats de calculs. Il est donc vital que les signaux ne soient pas modifiés, quel que soit l'instrument présent à l'entrée.

Parmi les autres éléments particuliers qui ont de l'importance, il y a la présence de bandes ou rubans dans le cas des enregistreurs magnétiques. Ce facteur amène des considérations propres à ce type d'instrument, et dont la plus importante est la gamme de possibilités qu'offre la présence de plusieurs vitesses d'enregistrement. Ainsi, plus la vitesse sera élevée, plus la gamme de fréquence sera grande et ce, tout en permettant dans certains cas une gamme dynamique plus étendue. Par contre, à vitesse élevée, la période d'enregistrement diminue.

Autre avantage, certains enregistreurs magnétiques permettent d'enregistrer simultanément plusieurs pistes sur une même bande. Cette possibilité est particulièrement intéressante dans les cas où les niveaux sonores couvrent une trop vaste échelle pour être enregistrés sur une seule piste. Alors, en effectuant certains réglages, il est possible de séparer la plage des niveaux sonores en deux: la partie inférieure est enregistrée sur l'une des pistes alors que la plage supérieure est codée sur une autre piste. Ce procédé demande cependant plus d'attention lors de l'analyse. Par ailleurs, la possibilité d'utiliser plusieurs pistes permet de supprimer un inconvénient qu'ont les enregistreurs selon certaines personnes. Souvent, l'analyse de l'enregistrement est faite en laboratoire par une personne qui ne connaît pas les opérations ayant lieu dans le milieu d'où provient l'échantillon. Elle ne sait donc pas si un bruit particulier est commun ou exceptionnel. Pour remédier à cela, la personne qui échantillonne peut enregistrer les niveaux de pression sonore sur une piste, et utiliser une autre piste pour commenter ou décrire le travail effectué. De cette façon, le responsable de l'analyse peut connaître les

diverses opérations qui produisent le bruit et y associer les niveaux sonores. Certains enregistreurs magnétiques offrent plus de deux pistes permettant des enregistrements simultanés.

Autre élément particulier dans le cas des enregistreurs à bande magnétique, il faut considérer la vitesse de défilement de la bande. Si cette vitesse n'est pas constante, elle amène des perturbations dans l'enregistrement (flûtage), et les résultats ne seront pas conformes au bruit réel. Il faut donc accorder la préférence aux modèles munis d'un système de contrôle automatique des vitesses du moteur.

Le dernier élément intéressant de l'enregistreur magnétique est la possibilité d'utiliser une cassette en boucle continue. Puisque la bande tourne continuellement sur elle-même, l'enregistrement du bruit repasse continuellement, lui aussi, devant la tête de lecture. Cela permet une analyse en bande de fréquence très précise.

Puisque l'analyse des enregistrements magnétiques se fait presque invariablement en laboratoire, il est préférable de consulter les responsables des analyses sur le choix de l'appareil. Ceux-ci sont bien placés pour indiquer le type d'enregistreur requis et les critères à appliquer pour que l'instrument soit compatible avec leurs installations.

La sélection d'un enregistreur est plus difficile que celle d'un sonomètre ou d'un dosimètre. Cela est dû en grande partie à l'étendue du champ couvert par les produits. À cause même du grand nombre de possibilités qu'offre ce type d'appareil, il est difficile de fournir des points de repère précis comme dans le cas des autres instruments de mesure.

5 CONCLUSION

Le présent document n'a pas la prétention d'être exhaustif. Il est toutefois suffisamment complet pour couvrir à peu près tous les besoins généraux. Il peut même se présenter des situations où l'information fournie dépassera largement les attentes. Dans un tel cas, le lecteur choisira les critères de sélection qui lui paraîtront les plus importants. Les ouvrages généraux présentent toujours un peu ce même défaut: malgré la bonne volonté des auteurs, ils peuvent devenir difficiles à utiliser. À cause de cela même, il est fortement recommandé au lecteur de suivre une approche bien définie, que ce soit celle suggérée dans les chapitres précédents ou une autre qui lui est plus familière. Ce qui importe, c'est qu'on obtienne la même information à la fin du processus. Alors, ce guide, une fois le principe compris, ne devrait plus servir que d'outil de référence pour le choix des critères de sélection.

Terminons en formulant quelques dernières recommandations générales sur la sélection des instruments de mesure:

- Considérer la sélection des instruments de mesure comme étant un élément cohérent à l'intérieur du programme de santé et de sécurité de l'établissement.

- Pour chaque type d'instrument, faire une liste des critères à considérer selon les besoins.

- Inviter les représentants des compagnies à présenter leurs produits.

- Consulter les utilisateurs de l'instrument.

ANNEXES

ANNEXE I

Cas type

Le sujet abordé dans cette annexe est un exemple de démarche possible. On pourrait arriver à d'autres conclusions en modifiant, ajoutant ou retranchant certains paramètres; il ne faut donc pas généraliser le cas exposé ici.

Soit une entreprise moyenne produisant des pièces métalliques ouvrées. Le bruit dans le bâtiment constitue un problème suffisamment important pour que la compagnie s'y arrête.

Pour préciser l'environnement dans lequel fonctionnerait un éventuel instrument de mesure, il faut répondre aux questions du chapitre 2.

QUESTION 1. POURQUOI ?

Le premier objectif visé consiste à évaluer les endroits auxquels il faut prêter attention afin d'effectuer, si possible, une réduction à la source du niveau sonore. Par la suite, on établira une surveillance régulière afin de s'assurer que les niveaux sonores respectent les limites fixées dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail.

QUESTION 2. QUOI ?

Même si le contaminant considéré est identifiable sans instrument, il faut malgré tout prêter une attention particulière à la façon dont il se manifeste.

Dans notre cas, le niveau sonore ambiant donne l'impression subjective de varier énormément selon le type d'outil fonctionnant à tel ou tel moment. Le bruit peut donc être classé comme un bruit continu fluctuant. Il y a aussi des bruits impulsifs produits lorsque deux pièces de métal se heurtent lors de déplacements.

QUESTION 3. COMMENT ?

Puisque deux objectifs sont visés (voir question 1), on concevra deux stratégies légèrement différentes.

Premièrement, on effectuera une visite de l'aire de travail pour avoir une idée globale de la situation et déceler les problèmes. On relèvera les niveaux sonores à différents points. Si une machine semble produire plus de bruit que la moyenne, on en effectuera une évaluation particulière. Il s'agit donc de faire un échantillonnage à poste fixe.

La stratégie sera légèrement modifiée lorsque la compagnie, ayant apporté des changements à ses installations, sera prête à effectuer des vérifications de conformité. À partir de ce moment, la tâche consistera beaucoup plus à vérifier l'exposition du travailleur par échantillonnage individuel. Les visites globales du début auront encore lieu, mais à une fréquence beaucoup moindre, voire même sur demande seulement.

QUESTION 4. OÙ ?

Les travailleurs sont appelés à circuler en deux endroits différents, soit à l'intérieur du bâtiment et à l'extérieur, dans une cour d'entreposage.

La température à l'intérieur varie entre 17°C et 30°C selon la saison. Par contre, l'hiver, les employés peuvent parfois avoir à sortir à l'extérieur, où la température peut descendre à -20°C. L'humidité est élevée les jours de pluie, et il y a également dans l'air des poussières de métal et de la fumée de soudure.

Par ailleurs, la machinerie est regroupée en fonction du type de production probable, ce qui donne une répartition non homogène des sources de bruit. De plus, le bâtiment est constitué d'une structure métallique, ce qui le rend très réverbérant.

Enfin, il n'y a pas de véhicule circulant au sol puisque tous les déplacements se font à l'aide d'un pont roulant.

QUESTION 5. QUAND ?

Les mesures seront principalement effectuées lorsque les opérations de production réalisées à l'intérieur du bâtiment changeront. De cette façon, le niveau sonore sera continuellement mis à jour selon les situations. Toute machine nouvellement achetée ou modifiée sera également évaluée.

Il faut noter si les portes sont ouvertes ou fermées (les portes fermées durant l'hiver augmentent la surface de réverbération).

QUESTION 6. QUI ?

C'est le responsable de la sécurité qui aura pour tâche d'évaluer le niveau de bruit. Afin de pouvoir effectuer correctement son travail, il suivra un stage de formation d'une semaine. Les mesures de routine pourront, par la suite, être prises par son assistant.

On peut déjà tirer, des réponses à ces six questions, une partie des renseignements nécessaires à la sélection de l'instrument de mesure.

Même si, dans un premier temps, on ne désire qu'une mesure approximative, par la suite, il faudra procéder à une évaluation suffisamment précise pour donner des valeurs comparables à celles du Règlement. Cela nécessite au minimum un instrument de type II. De plus, le milieu présente un bruit continu fluctuant ainsi que des bruits impulsifs produits lors d'impacts. Donc, s'il faut comparer l'exposition du travailleur aux normes, il faut pouvoir mesurer le niveau équivalent L_{eq} (puisqu'il y a des bruits fluctuants, il faut utiliser l'intégration pour obtenir un résultat valable) et le niveau de pression sonore des impulsions.

A la question 3, il est fait mention d'échantillonnage à poste fixe. Cela permet l'utilisation d'un instrument volumineux, mais également plus complet, puisqu'il sera déplacé moins souvent. Par contre, il y aura aussi des échantillonnages personnels, et si les employés se déplacent beaucoup, il faudra disposer d'un instrument de mesure léger et peu encombrant. De plus, si les opérations de production changent régulièrement selon les contrats, le taux d'utilisation des instruments sera également régulier.

La gamme de températures est surtout importante compte tenu du fait que les travailleurs sortent à l'extérieur durant l'hiver. Les autres contraintes environnementales sont l'humidité, les poussières de métal et la fumée de soudure.

La réponse à la sixième question indique la personne qui effectuera les mesures. Il s'agit d'une personne qui n'a pas d'expérience dans la manipulation des instruments de mesure en question. Il faut donc sélectionner des instruments qui soient robustes sans être complexes.

Enfin, il ne faut pas oublier que le milieu est réverbérant, à cause de sa structure métallique.

Maintenant que les principaux renseignements utiles tirés des réponses aux six questions ont été mis en évidence, la prochaine étape est la consultation de l'illustration 17 du troisième chapitre, qui permettra de déterminer les instruments appropriés aux besoins.

Ainsi, la mesure des niveaux de pression sonore des impulsions nécessite un sonomètre avec crête linéaire.

La présence de machines pouvant produire des sons purs, telles que les ventilateurs à palme, générateurs électriques, etc., n'a pas été relevée. Il est malgré tout préférable d'en faire vérifier la présence, même si l'achat d'un filtre d'analyse d'octave n'est pas prévu.

Pour évaluer le bruit continu fluctuant, l'instrument à sélectionner doit pouvoir mesurer le niveau équivalent du bruit. Pour les mesures à poste fixe, et lorsque les résultats doivent être disponibles rapidement, il faut choisir un sonomètre intégrateur (l'usage de l'enregistreur demande un traitement en laboratoire, ce qui occasionne des délais importants). Pour l'échantillonnage individuel, il faut absolument utiliser un dosimètre si les mesures doivent être faites régulièrement et de façon précise. Si l'on utilisait un sonomètre ou un enregistreur, il faudrait qu'un employé suive le travailleur évalué et transporte l'instrument.

Donc, les besoins se résument à: un sonomètre avec crête linéaire, un sonomètre intégrateur et un dosimètre.

Nous exposerons maintenant la démarche pour la sélection du sonomètre et de son microphone seulement. Les critères à considérer

sont présentés sous forme de tableau; leur importance y est indiquée, et nous avons inclus des repères à garder en mémoire relativement à la plupart des critères.

TABLEAU 6. CRITÈRES DE SÉLECTION DU SONOMÈTRE

CRITÈRES	IMPORTANT	SECONDAIRE	NÉGLIGEABLE	REPÈRE
Alimentation	X			Piles rechargeables
Autonomie	X			Minimum 13 heures Recharge 12 heures
Bruit de fond	X			Plus bas que la limite de détection inférieure
Chronomètre		X		...
Constante de temps	X			Lente, rapide, crête
Construction	X			Solide puisque l'utilisateur est non spécialiste
Contraintes environnementales	X			Température -20°C à 30°C Humidité Poussières
Descente de la retenue		X		Moins de 0,1 dB/sec.
Détecteur	X			Doit être quadratique
Distorsion	X			La plus faible possible
Entretien	X			Service après vente
Étalonnage externe	X			Simple et rapide sur le terrain
Gamme de fréquences	X			Jusqu'à 16 kHz minimum

CRITÈRES	IMPORTANT	SECONDAIRE	NÉGLIGEABLE	REPÈRE
Gamme dynamique	X			Jusqu'à 140 dB linéaires minimum à cause des bruits impulsifs
Garantie	X			...
Graduation		X		Doit être linéaire
Limite de détection inférieure		X		...
Linéarité	X			Doit respecter les normes
Niveau sonore équivalent	X			Préférable, facteur de bissection = 5 dB
Norme		X		ACNOR-CSA ANSI-CEI
Période d'intégration	X			Même durée qu'un quart de travail, au minimum
Plage de lecture	X			Minimum de 30 dB
Pondération	X			"A" et crête linéaire
Précision	X			à 90 dBA, 115 dBA, 140 dBA
Retenue	X			Pour les impulsions
Sorties c.a. - c.c.			X	Pour enregistrement seulement
Surcharge		X		...
Temps de montée	X X	X		Lente: 1 seconde Rapide: 125 msec Crête linéaire: 50 µsec

TABLEAU 7. CRITÈRES DE SÉLECTION DU MICROPHONE

CRITÈRES	IMPORTANT	SECONDAIRE	NÉGLIGEABLE	REPÈRE
Alimentation	X			Doit être compatible avec le voltage du sonomètre
Atmosphère corrosive	X			Poussières
Bruit de fond	X			5 dB sous le signal à mesurer
Diamètre	X			½ po; milieu entre 1 po et ¼ po
Dimension physique		X		...
Distorsion	X			La plus faible possible
Entretien	X			Amovible
Étalonnage	X			Fiche d'information pour l'étalonnage
Fréquence de résonnance	X			Doit être amortie
Gamme de fréquences	X			Plus grande que la gamme de fréquences du sonomètre
Gamme dynamique	X			Limite supérieure à 3% de distorsion
Garantie	X			Atmosphère hostile Utilisateur non spécialisé
Humidité	X			Élevée durant les jours pluvieux
Milieu inflammable			X	N'y a pas de gaz explosifs
Réponse directionnelle	X			Champ diffus (milieu réverbérant)

CRITÈRES	IMPORTANT	SECONDAIRE	NÉGLIGEABLE	REPÈRE
Réponse de fréquence	X			Doit être la plus linéaire possible
Sensibilité		X		Quelques dizaines de millivolts par pascal, mV/Pa
Stabilité		X		Réétalonnage quotidien
Température	X			De -20°C à 30°C
Type	X			Même type que le sonomètre
Vibrations		X		...

Il faut remplir un tableau analogue pour chacun des instruments envisagés. Par la suite, une comparaison des résultats permettra d'écarter la majorité des instruments; il ne restera qu'un petit nombre, qu'on aura plus de facilité à évaluer tout en limitant sérieusement les critères décisifs.

ANNEXE 2

Quantités réglementées

Les renseignements sur les quantités réglementées contenus dans cette annexe devraient aider le lecteur à remplir les rapports de visite.

A.2.1 Bruit continu

L'article 45 du Règlement, au sujet du bruit continu, stipule:

"**Bruit continu**: Dans un établissement, aucun travailleur ne doit être exposé aux niveaux de bruit continu prévus ci-dessous pendant une période de temps plus longue que celle qui est indiquée au tableau qui suit:

Niveau de bruit en dBA, dBA corrigés ou dBA équivalents	Temps d'exposition* permis (h/jour)	Niveau de bruit en dBA, dBA corrigés ou dBA équivalents	Temps d'exposition* permis (h/jour)
85	16	101	1,75
86	13,9	102	1,50
87	12,1	103	1,3
88	10,6	104	1,2
89	9,2	105	1
90	8	106	0,9
91	7	107	0,8
92	6	108	0,7
93	5,3	109	0,6
94	4,6	110	0,5
95	4	111	0,45
96	3,5	112	0,4
97	3	113	0,35
98	2,6	114	0,30
99	2,3	115	0,25
100	2	>115	0

*Ceci comprend toute exposition continue ou toute série de courtes expositions sur une période de travail d'un travailleur.

Le temps d'exposition permis pour tout travailleur à chaque niveau de bruit indiqué au tableau précédent, est diminué de moitié, à compter d'une date qui sera déterminée par règlement du gouvernement adopté conformément à l'article 223 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail."

Dans ce tableau, la colonne de gauche indique les niveaux de bruit et la colonne de droite, le temps d'exposition maximum du travailleur pour le niveau correspondant.

Ex.: Un travailleur exposé à un environnement sonore dont le niveau équivalent est de 95 dBA ne peut y demeurer plus de 4 heures. Après cette période, il doit être transféré dans un endroit où le niveau sonore est inférieur à 85 dBA.

L'article 46 présente deux relations mathématiques qui permettent de calculer le niveau équivalent. La première de ces relations est une somme de quotients.

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \ldots + \frac{C_m}{T_m}$$

Elle représente la somme des périodes d'exposition du travailleur à des bruits stables. Il est très important de comprendre les conditions d'utilisation de cette relation mathématique. Chaque fraction correspond à une exposition du travailleur à un niveau de bruit demeuré stable durant une certaine période. Si, après cette période, le niveau sonore change, il doit de nouveau atteindre un niveau stable durant un autre intervalle de temps appréciable. Cela signifie que l'utilisation de cette relation est limitée à un environnement sonore très peu fluctuant. L'illustration 29 donne des éclaircissements à cet égard.

Cette relation mathématique est simple à utiliser. En premier lieu, il faut séparer l'exposition totale du travailleur en périodes de niveaux de pression sonore stables, comme le montre l'illustration 29. Pour chacun de ces niveaux, on note au numérateur le temps d'exposition réel du travailleur et, au dénominateur, le temps d'exposition permis selon le tableau de l'article 45 du Règlement. Puis, on somme les quotients. Si le résultat est inférieur à 1, c'est que l'exposition du travailleur est au-dessous du seuil limite. Si le résultat est égal à 1, l'exposition se situe à la limite permise. Il y a surexposition si le résultat est supérieur à 1. L'exemple suivant permettra d'illustrer cette situation.

Illustration 29. COMPLEXITÉ DU CALCUL DU NIVEAU SONORE ÉQUIVALENT D'UN BRUIT FLUCTUANT

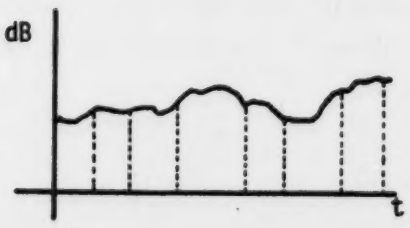


Figure 1. Le graphique représente un bruit stable qui peut être divisé en sept (7) différentes périodes de niveau stable. Il n'est donc pas trop difficile, dans ce cas, de sommer les sept (7) quotients correspondants.

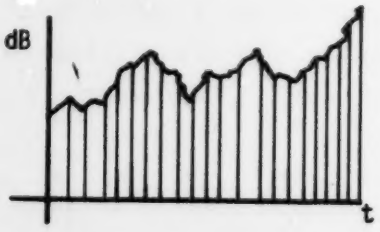


Figure 2. Le bruit est fluctuant et il faut effectuer de très fréquentes coupures afin d'obtenir des niveaux de bruit stables. Dans ce cas, il devient fastidieux d'additionner un si grand nombre de quotients.

Ex.: Soit un travailleur dont l'exposition a été évaluée approximativement aux valeurs suivantes:

2 heures à 95 dBA (4)
3 heures à 80 dBA (36, extrapolation)
1 heure à 96 dBA (3,5)
2 heures à 86 dBA (13,9)

Le temps d'exposition permis selon le Règlement est indiqué entre parenthèses. En transposant ces valeurs dans la relation (temps d'exposition réel au numérateur, temps d'exposition permis au dénominateur), on obtient:

$$\frac{2}{4} + \frac{3}{36} + \frac{1}{3,5} + \frac{2}{13,9}$$

L'exposition de 3 heures à 80 dBA est retranchée de l'équation puisque ce niveau est moindre que le seuil inférieur de 85 dBA à partir duquel le Règlement s'applique.

$$\frac{2}{4} + \frac{1}{3,5} + \frac{2}{13,9} \simeq 0,93$$

Le résultat est inférieur à 1; donc, l'exposition du travailleur ne dépasse pas la limite permise.

Comme il a été mentionné au début de l'exemple, les périodes d'exposition sont évaluées approximativement. Or, chaque fois qu'une approximation est faite, il y a également une erreur qui est faite. C'est à la personne effectuant ces approximations qu'il revient de décider si l'erreur devient trop importante.

Toujours dans l'article 46, une autre relation mathématique permet d'obtenir le niveau équivalent "A":

$$L_{eq} = 16{,}61 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{L/16{,}61} dt$$

Cette relation correspond aux calculs effectués par un instrument (dosimètre ou sonomètre intégrateur) pouvant traiter énormément de données par seconde.

Pour mieux visualiser la fonction de cette relation, nous la modifierons légèrement: la formule du L_{eq} correspond à une intégration (sommation) des niveaux sonores pour de très petites périodes de temps. La modification qui sera apportée revient à faire une approximation, tout comme pour la première relation de l'article 46. L'illustration 30 donne un exemple d'une sommation de type "intégration" effectuée électroniquement et d'une sommation de type "approximation" effectuée manuellement.

Illustration 30. SOMMATION DES NIVEAUX SONORES

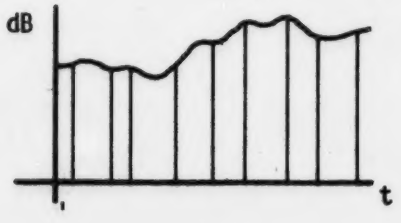


Figure 1. On note une sommation sur de très petites périodes de temps. On appelle ce type de sommation "intégration"; elle est effectuée ici par des instruments.

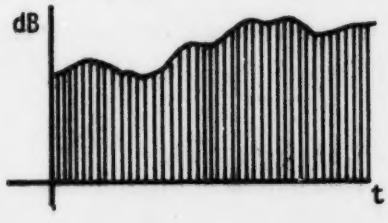


Figure 2. Le graphique représente la même sommation, mais approximée sur de plus grands intervalles.

La modification donne donc:

$$L_{eq} = 16{,}61 \log \frac{1}{T} \sum_{n}^{N} 10^{L(n)/16{,}61} \times t_n$$

Où: "T" correspond à la période de travail.
"L(n)" est le niveau de bruit correspondant à une période stable.
"t_n" représente la période de temps d'exposition correspondant au niveau de bruit.

Ex.: Avec les données du cas considéré dans l'exemple précédent, on a:

2 heures à 95 dBA
3 heures à 80 dBA
1 heure à 96 dBA
2 heures à 86 dBA

Pour la même raison que précédemment, l'exposition d'une heure à 80 dBA est retirée des calculs.

$$L_{eq} = 16{,}61 \log \frac{1}{8} \{(10^{95/16.61} \times 2) + (10^{96/16.61} \times 1) + (10^{86/16.61} \times 2)$$

$$\simeq 16{,}61 \log \frac{1}{8} \{1\ 048\ 277 + 612\ 075 + 301\ 046\}$$

$$\simeq 16{,}61 \log \{\frac{1\ 951\ 398}{8}\}$$

$$\simeq 16{,}61 \log \{243\ 925\}$$

$$L_{eq} \simeq 89 \text{ dBA}$$

Ce résultat est en accord avec la conclusion du premier exemple, à savoir qu'il n'y a pas de surexposition du travailleur. Cette méthode de sommation d'approximations comporte elle aussi une part d'erreur. C'est pour cette raison qu'il est préférable, lorsque c'est justifiable, d'utiliser un instrument de mesure pouvant effectuer l'intégration, ce qui est beaucoup plus précis.

A.2.2 Bruit impulsif

Lorsque l'on considère les bruits impulsifs, il faut se rapporter à l'article 48 du Règlement pour connaître les limites d'exposition. Cet article se lit comme suit:

"**Bruits d'impact:** Dans un établissement, aucun travailleur ne doit être exposé à un bruit d'impact qui excède dans une journée le nombre indiqué au tableau qui suit:

Niveau de bruit en dB linéaire valeur de crête	Nombre d'impacts permis (pendant 8 heures)
120	10 000
121	7 943
122	6 310
123	5 012
124	3 981
125	3 162
126	2 512
127	1 995
128	1 585
129	1 259
130	1 000
131	794
132	631
133	501
134	398
135	316
136	251
137	200
138	158
139	126
140	100
> 140	0

Il est très improbable que les niveaux de pression sonore produits durant 8 heures soient tous égaux. Il faut donc disposer, tout comme dans l'article 46, de relations mathématiques qui permettent de combiner diverses expositions. Ces relations se trouvent à l'article 49. La première est très analogue à celle que l'on a vue pour le bruit continu.

$$\frac{C_1}{N_1} + \frac{C_2}{N_2} + \ldots + \frac{C_n}{N_m}$$

Le numérateur "C" correspond au nombre d'impulsions d'un même niveau, alors que le dénominateur représente le nombre d'impulsions permis pour le même niveau de pression sonore.

L'exemple qui suit servira à mieux comprendre l'utilisation de cette relation.

Ex.: Considérons un environnement de travail dont l'inventaire des bruits d'impulsions donne les résultats suivants:

500 impulsions de 130 dB linéaires (1 000)
200 impulsions de 135 dB linéaires (316)
60 impulsions de 138 dB linéaires (158)

Le nombre d'impulsions permis pour chaque niveau de bruit est indiqué entre parenthèses. On place donc ces nombres dans la relation (nombre réel d'impulsions au numérateur, et nombre permis d'impulsions au dénominateur). On obtient:

$$\frac{500}{1\,000} + \frac{200}{316} + \frac{60}{158} \simeq 1{,}5$$

Ici aussi, le résultat est comparé à 1. Si le nombre à droite est plus petit que l'exposition du 1, le travailleur se trouve au-dessous du seuil limite. Si ce nombre est égal à 1, l'exposition est à la limite permise. Si, comme dans l'exemple, le résultat est supérieur à 1, c'est qu'il y a surexposition aux bruits impulsifs.

On peut utiliser une autre relation pour obtenir le résultat en dB linéaires.

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum 10^{L(n)/10} \times n$$

Où: "N" correspond au nombre total de bruits impulsifs.
"L(n)" représente les différents niveaux de bruits impulsifs.
"n" indique le nombre de bruits impulsifs pour un même niveau donné.

Ex.: Considérons les données de l'exemple précédent:

500 impulsions de 130 dB linéaires
200 impulsions de 135 dB linéaires
60 impulsions de 138 dB linéaires

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{500 + 200 + 60} \{(500 \times 10^{130/10}) + (200 \times 10^{135/10}) + (60 \times 10^{138/10})\}$$

$$= 10 \log \frac{1}{760} \{500 \times 10^{13} + 200 \times 10^{13.5} + 60 \times 10^{13.8}\}$$

$$= 10 \log \{\frac{1.51 \times 10^{16}}{760}\}$$

$$= 10 \log \{1\ 988 \times 10^{13}\}$$

L_{eq} = 133 dB linéaire pour 760 impulsions

Ce niveau de 132,98 dB linéaires correspond à 760 impulsions, alors que la table de l'article 48 donne pour 133 dB linéaires un nombre d'impulsions maximum de 501. Il y a 259 impulsions de trop, ce qui confirme la surexposition notée à l'exemple précédent.

La principale difficulté à laquelle on fait face dans l'utilisation de cette relation est l'obtention des résultats eux-mêmes. Premièrement, les limites sont établies pour une durée de huit (8) heures, et tout échantillonnage représentatif doit être ramené à cette période de temps. Deuxièmement, le dénombrement doit se faire manuellement, sauf si l'on utilise l'équipement approprié, ce qui demande soit beaucoup d'argent pour les unités de traitement, soit des ententes avec une institution disposant de ces unités. Enfin, si les mesures sont effectuées manuellement, les résultats seront toujours une approximation plus ou moins précise de la situation réelle.

A.2.3 BANDES DE FRÉQUENCE PRÉDOMINANTE

Le calcul du niveau de pression sonore influencé par la présence de bandes de fréquence prédominante est simple, mais long. En effet, il faut considérer chaque fois les 10 bandes d'octave du spectre sonore. Mais, puisque ces calculs suivent une routine répétitive, il est possible de se procurer des programmes pour calculatrices qui effectueront le traitement complet. Néanmoins, les lignes qui suivent exposent la démarche à suivre.

Les données qui seront utilisées pour exemple sont:

à	31,5	Hz,	on a 66 dB linéaires
à	63	Hz,	on a 68 dB linéaires
à	125	Hz,	on a 74 dB linéaires
à	250	Hz,	on a 68 dB linéaires
à	500	Hz,	on a 70 dB linéaires
à	1 000	Hz,	on a 82 dB linéaires
à	2 000	Hz,	on a 77 dB linéaires
à	4 000	Hz,	on a 74 dB linéaires
à	8 000	Hz,	on a 75 dB linéaires
à	16 000	Hz,	on a 79 dB linéaires

Si l'on consulte la définition d'une bande de fréquence prédominante donnée dans le chapitre portant sur les notions de base, on voit qu'il y en a deux dans le spectre.

À 125 Hz, il y a une première bande de fréquence prédominante (74 dB est supérieur de plus de 4 dB à la moyenne arithmétique des bandes adjacentes: (68 + 68)/2 = 68).

À 1 000 Hz, il y a également une autre bande de fréquence prédominante (82 dB est supérieur de plus de 4 dB à la moyenne arithmétique des deux bandes adjacentes: (70 + 77)/2 = 73,5).

Une valeur de 5 dB est additionnée à chacune de ces deux bandes prédominantes.

74 dB + 5 dB = 79 dB linéaires
82 dB + 5 dB = 87 dB linéaires

Les nouveaux résultats sont donc:

à 31,5 Hz: 66 dB linéaires
à 63 Hz: 68 dB linéaires
à 125 Hz: 79 dB linéaires
à 250 Hz: 68 dB linéaires
à 500 Hz: 70 dB linéaires
à 1 000 Hz: 87 dB linéaires
à 2 000 Hz: 77 dB linéaires
à 4 000 Hz: 74 dB linéaires
à 8 000 Hz: 75 dB linéaires
à 16 000 Hz: 79 dB linéaires

Ces résultats sont encore en décibels linéaires; il faut donc faire les modifications suivantes pour obtenir des décibels en pondération "A".

Au niveau de 31,5 Hz; retrancher 39,4 dB
Au niveau de 63 Hz; retrancher 26,2 dB
Au niveau de 125 Hz; retrancher 16,1 db
Au niveau de 250 Hz; retrancher 8,6 dB
Au niveau de 500 Hz; retrancher 3,2 dB
Au niveau de 1 000 Hz; n'effectuer aucune modification
Au niveau de 2 000 Hz; additionner 1,2 dB
Au niveau de 4 000 Hz; additionner 1,0 dB
Au niveau de 8 000 Hz; retrancher 1,1 dB
Au niveau de 16 000 Hz; retrancher 6,6 dB

A la suite de ces modifications, on obtient les niveaux en pondération "A".

à 31,5 Hz, on a 26,6 dBA
à 63 Hz, on a 41,8 dBA
à 125 Hz, on a 62,9 dBA
à 250 Hz, on a 59,4 dBA
à 500 Hz, on a 66,8 dBA
à 1 000 Hz, on a 87 dBA
à 2 000 Hz, on a 78,2 dBA
à 4 000 Hz, on a 75,0 dBA
à 8 000 Hz, on a 73,9 dBA
à 16 000 Hz, on a 72,4 dBA

Pour obtenir la valeur du niveau sonore total, il faut utiliser le tableau 6. La méthode d'utilisation est la suivante:

La différence entre les niveaux de 31,5 et 63 Hz est: 41,8 - 26,6 = 15,2 dB. On recherche ce résultat (15,2) dans la colonne de gauche du tableau 6. Lorsque l'on a déterminé l'intervalle où se trouve la valeur de 15,2 dB (entre 14,6 et 19,3), on prend le nombre correspondant dans la colonne de droite, soit 0,1 et on l'additionne au plus grand des deux niveaux considérés.

0,1 + 41,8 = 41,9 dBA.

On compte maintenant ce résultat avec le niveau de l'octave à 125 Hz.

62,9 - 41,9 = 21,9 dBA

TABLE D'ADDITION DE NIVEAUX SONORES (EN DÉCIBELS) PROVENANT DE SOURCES AYANT DES CARACTÉRISTIQUES DE FRÉQUENCES ALÉATOIRES

Somme (LR) de deux niveaux

Différence entre les niveaux L_1 et L_2	L: Quantité à ajouter au niveau le plus haut
0,0 à 0,1	3,0
0,2 à 0,3	2,9
0,4 à 0,5	2,8
0,6 à 0,7	2,7
0,8 à 0,9	2,6
1,0 à 1,2	2,5
1,3 à 1,4	2,4
1,5 à 1,6	2,3
1,7 à 1,9	2,2
2,0 à 2,1	2,1
2,2 à 2,4	2,0
2,5 à 2,7	1,9
2,8 à 3,0	1,8
3,1 à 3,3	1,7
3,4 à 3,6	1,6
3,7 à 4,0	1,5
4,1 à 4,3	1,4
4,4 à 4,7	1,3
4,8 à 5,1	1,2
5,2 à 5,6	1,1
5,7 à 6,1	1,0
6,2 à 6,6	0,9
6,7 à 7,2	0,8
7,3 à 7,9	0,7
8,0 à 8,6	0,6
8,7 à 9,6	0,5
9,7 a 10,7	0,4
10,8 à 12,2	0,3
12,3 à 14,5	0,2
14,6 à 19,3	0,1
19,4 à	0,0

1) déterminer la différence entre L_1 et L_2 (les deux plus hauts niveaux);

2) déterminer L_i correspondant à cette différence;

3) additionner L_i au niveau le plus haut de L_1 ou L_2 pour obtenir L_n;

4) répéter cette procédure entre L_1 et L_2 jusqu'à L_n pour additionner plusieurs niveaux.

En se référant au tableau 6, on trouve dans la colonne de gauche la plage contenant ce nombre (19,4 et plus) et l'on tire le nombre correspondant de la colonne de droite (0,0).

Ce nombre est ajouté au plus grand des deux niveaux considérés.

0,0 + 62,9 = 62,9 dBA

On continue ainsi pour les sept autres bandes d'octave.

- 62,9 - 59,4 = 3,5 dBa
  3,5 correspond à 1,6, d'où: 62,9 + 1,6 = 64,5 dBA

- 66,8 - 64,5 = 2,3 dBA
  2,3 correspond à 2,0, d'où: 66,8 + 2,0 = 68,8 dBA

On note que l'on considère toujours le plus grand niveau indépendamment de l'ordre de présentation.

- 87 - 68,8 = 18,2
  18,2 correspond à 0,1, d'où: 87 + 0,1 = 87,1 dBA

- 87,1 - 78,2 = 8,9
  8,9 correspond à 0,5, d'où: 87,1 + 0,5 = 87,6 dBA

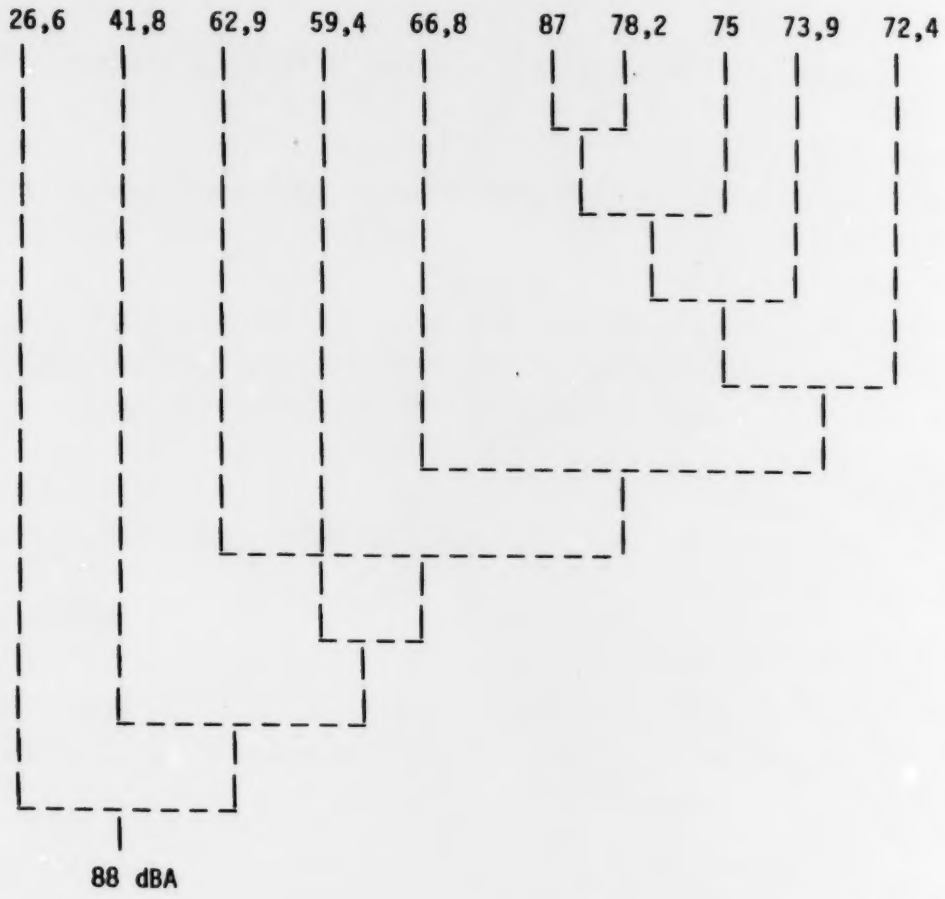
- 87,6 - 75,0 = 12,6
  12,6 correspond à 0,2, d'où: 87,6 + 0,2 = 87,8 dBA

- 87,8 - 73,9 = 13,9
  13,9 correspond à 0,2, d'où: 87,8 + 0,2 = 88 dBA

- 88 - 72,4 = 15,6
  15,6 correspond à 0,1, d'où: 88 + 0,1 = 88,1 dBA

Le niveau de pression sonore total du bruit contenant les bandes de fréquence prédominante est de 88,1 dBA corrigés.

Lorsque l'on devra effectuer ce type de traitement, on commencera à traiter les valeurs par ordre décroissant, indépendamment de l'octave, tel qu'indiqué ci-dessous.



Niveau en décibel "A" corrigé.

ANNEXE 3

Lexique

Affaiblissement
Taux de diminution du signal à l'extérieur de la bande passante.

Alimentation
Source de l'énergie qui sert à faire fonctionner l'instrument.

Analyse de fréquence
Méthode consistant à séparer le spectre de fréquences en bandes plus ou moins étroites, et à évaluer le niveau de pression sonore correspondant à chacune d'elle.

Angle d'incidence
Angle que fait l'onde sonore avec une droite perpendiculaire à la membrane du microphone.

Autonomie
Correspond au temps durant lequel l'instrument peut fonctionner de façon continue selon ses propres spécifications, et ce, avec une alimentation autonome.

Bande d'octave
Voir filtre d'octave.

Bande passante
Largeur du spectre de fréquence que laisse passer le filtre.

Bruit de fond
Ensemble des signaux parasites existant en l'absence de tous signaux utiles.

Bruit impulsif
Bruit généralement produit lors d'un choc (impact). Sa durée est très courte et son niveau de pression sonore assez élevé. Parfois appelé bruit d'impact ou bruit d'impulsion.

C.A.
Abréviation de "courant alternatif".

Canaux
Entrées de magnétophone correspondant chacune à une piste d'enregistrement sur une bande magnétique.

Capacitance
Il s'agit généralement de deux plaques métalliques entre lesquelles est maintenue une différence de potentiel.

C.C.
Abréviation de "courant continu".

Céramique
Matériel produit en industrie et auquel on peut parfois induire des propriétés piézoélectriques semblables à certains cristaux naturels.

Condensateur
Voir capacitance.

Constante de temps normalisée
Vitesse avec laquelle le galvanomètre de l'affichage répond à un signal.

Contraintes environnementales
Conditions du milieu de travail dans lesquelles doit fonctionner l'instrument.

Crête
Voir valeur crête.

Descente de la retenue
Voir vitesse de descente de la retenue.

Détecteur
Circuit électronique servant à coder le signal sous une forme permettant le calcul.

Diélectrique
Matériel dans lequel on peut maintenir un champ électrique avec un minimum de dissipation.

Différence de potentiel
C'est le voltage qui existe entre deux plaques séparées. La valeur est donnée en volts.

Distorsion
Déformation de la forme d'un signal au cours de sa propagation à l'intérieur des circuits électroniques.

Dose de bruit
Quantité de bruit accumulée durant la période d'exposition de la personne. Le calcul est généralement effectué pour des périodes de huit heures et le résultat est donné en pourcentage.

Échantillonnage
Action consistant à prélever un échantillon du bruit afin d'en évaluer le niveau de pression sonore. Il peut être instantané si l'échantillon capté par le microphone est immédiatement calculé (dB(A) ou bruit impulsif); ou intégré si l'échantillonnage s'effectue sur un certain temps (L_{eq} ou enregistrement).

Échelle logarithmique
Échelle qui permet une croissance uniforme des valeurs sur l'affichage. Sans cette échelle, les valeurs des graduations croîtraient si vite qu'elles perdraient toute précision.

Effet piézoélectrique
Propriété d'un matériau de produire un voltage lorsqu'on exerce une pression dessus.

Électret
Matériau à l'intérieur duquel ou a induit en permanence une différence de potentiel.

Étalonnage
Action consistant à ajuster ou régler un instrument en fonction d'une valeur de référence.

Facteur de bissection
C'est l'accroissement du niveau de pression sonore qui peut être accepté si on réduit le temps d'exposition de moitié.

Facteur de crête
Nombre maximum de décibels, au-dessus du niveau moyen de bruit, que peut détecter un instrument.

$$\text{Facteur de crête} = \frac{\text{Valeur crête}}{\text{Valeur R.M.S.}}$$

Filtre d'octave
Dispositif électronique acoustique transmettant relativement bien l'énergie d'un son, lorsque la fréquence est comprise dans certaines bandes (dites passantes) et s'opposant à sa transmission lorsque la fréquence est à l'extérieur de la bande passante sélectionnée.

Flûtage
Distorsion survenant lors de la reproduction du son par suite de variations indésirées dans la vitesse de défilement de la bande magnétique.

Galvanomètre
Dispositif électrique qui permet à un instrument d'indiquer un résultat sur l'affichage au moyen d'une aiguille.

Gamme de fréquences
Largeur du spectre de fréquences que l'instrument peut traiter.

Gamme dynamique
Étendue des niveaux de pression sonore (en décibels) que l'instrument peut mesurer.

Graduation
Ensemble des repères de l'affichage servant à évaluer la position de l'aiguille.

Impulsion
Voir bruit impulsif.

L_{eq}
Voir niveau sonore équivalent.

Limite d'intégration inférieure
Niveau de pression sonore minimum que peut détecter l'instrument.

Limite d'intégration
Niveau de pression sonore minimum ou maximum que peut intégrer un instrument, dans le but d'obtenir le niveau équivalent (L_{eq}).

Linéarité

Écart se rapportant à une courbe théorique établie à l'intérieur du circuit électronique; la réponse de l'instrument en fonction de la fréquence doit se trouver à l'intérieur de cet écart.

Module de programmation

Composante du circuit électronique dans laquelle sont programmés les paramètres de calcul tels que les limites d'intégration.

Niveau de pression sonore

Expression synonyme de bruit lorsqu'on mesure celui-ci en décibels.

Niveau sonore équivalent

Niveau continu équivalent en dB(A) qui a le même potentiel de nocivité que le niveau variable. En d'autres mots, on peut dire qu'il s'agit d'une moyenne des niveaux de pression sonore, prise sur une période de temps et qui représente le même risque que celui des niveaux de pression sonore de la période concernée.

Norme

Formule qui définit un type d'instrument en vue de simplifier, de rendre plus efficace et plus rationnelle la production dans un secteur donné.

Omnidirectionnel

Qualifie un microphone pouvant capter les niveaux de pression sonore indépendamment de l'angle d'incidence.

Piste

Largeur réservée à un enregistrement sur une bande magnétique.

Plage de lecture
Étendue de chacune des échelles de lecture apparaissant sur l'affichage.

Pondération
Courbe théorique à laquelle correspond un circuit électronique devant simuler la réponse de l'oreille humaine selon la fréquence du bruit.

Précision
Correspond à l'écart entre la mesure acceptée et une mesure isolée, et ce, pour les mêmes conditions environnementales.

Quadratique
Voir valeur R.M.S.

Temps de montée
Temps nécessaire au galvanomètre pour être défléchi au maximum de l'échelle sous l'action d'un signal.

Unité de lecture
Composante d'un dosimètre qui sert d'unité de contrôle. Tous les réglages se font à partir de cette unité, de même que la lecture des résultats.

Valeur crête
Niveau maximum atteint par une onde sonore par suite d'un bruit impulsif.

Valeur R.M.S.
Il s'agit d'une méthode de calcul (quadratique) qui fournit une valeur moyenne du signal sonore parvenant au microphone. Cette valeur est par la suite traitée par d'autres circuits électroniques spécialisés.

ANNEXE 4

Bibliographie

Monographies

AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION. Industrial Noise Manual. Akron, Ohio, 2e éd., 1975, 162 p.

BOCHUD, Michel. Éléments d'acoustique. Cégep de la Pocatière, 1978.

BOSTFORS, James H. The Industrial Environment - its evaluation & control. U.S. Department of Health, Education and Welfare, ch. 25, 1973.

FORTNER, Ronnie L. et Nick Blaskovitch Jr. A report on the Performance of Personal Noise Dosimeters. NIOSH, publication n° 78-186, 1978.

MERGLER, Donna et al. Le bruit en milieu de travail. Montréal, Institut de recherche appliquée sur le travail, 1979.

Revues

Applied Acoustics. Elevier Applied Science Publishers Ltd. Ed., London.

Sound and Vibration. Jack K. Mowry Ed., Bay Village, OH.

Normes

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION (ACNOR). Méthodes de mesures des niveaux de pression acoustique, Z107.2

_____. Sonomètres, Z107.1

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). Specifications for Octave, Half-Octave, and Third Octave Band Filter Sets, S1.11

_____. Specifications for Sound Level Meters, S1.4 - 1971.

BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC (BNQ). Mesure du bruit: Sonomètres, 4635-560. (Norme identique à la publication 123 de la CÉI).

COMMISSION ÉLECTRONIQUE INTERNATIONALE (CEI). Filtres de bandes d'octave, de demi-octave et de tiers d'octave destinés à l'analyse des bruits et des vibrations, publication 225.

_____. Premier supplément à la publication 179(1973), Sonomètres de précision, publication 179A. (Remplacée par la publication 651).

_____. Recommandations relatives aux sonomètres, publication 123. (Remplacée par la publication 651).

_____. Sonomètres, publication 651.

_____. Sonomètre de précision, publication 179. (Remplacée par la publication 651).